La restauración del papel

Salvador Muñoz Viñas

SALVADOR MUÑOZ VIÑAS

LA RESTAURACIÓN DEL PAPEL

tecnos

Diseño de cubierta:
CDForm, S. L.
Servicios Editoriales

Esta obra ha sido publicada con una subvención de la Dirección General del Libro, Archivos y Bibliotecas del Ministerio de Cultura, para su préstamo público en Bibliotecas Públicas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 37.2 de la Ley de Propiedad Intelectual.

Créditos fotográficos:
Fátima Amorós Solera realizó las fotografías 01014, 0105, 0809 a 0813, 1101 y 1109 a 1113. Mónica Espí realizó las fotografías 0206 a 0211. Ángela Aguilar realizó las fotografías 0203, 1201, 1204 y 1205. Laura Fuster realizó las fotografías 0613 y 1207. Zyance realizó las fotografías 0204 y 0309. Michal Maas realizó las fotografías 0212 y 0313. Thomas Splettoeser realizó la ilustración 0409. Mistvan realizó la fotografía 0201. Las imágenes 0301 a 0308, 0310 a 0313, 0405, 0406, 0408 y 0509 son de dominio público. El resto de fotografías, esquemas e ilustraciones han sido realizados por el autor del texto.

© Salvador Muñoz Viñas, 2010
© EDITORIAL TECNOS (GRUPO ANAYA, S.A.), 2010
Juan Ignacio Luca de Tena, 15 - 28027 Madrid
ISBN: 978-84-309-5112-3
Depósito Legal: M. 35.819-2010
Composición: Grupo Anaya

Printed in Spain. Impreso en España por Varoprinter

ÍNDICE

PRÓLOGO ..... *Pág.* 11

CAPÍTULO 1. LA RESTAURACIÓN DEL PAPEL. SITUACIÓN CONTEMPORÁNEA 13
1. QUÉ RESTAURAMOS 13
2. LAS MICROESPECIALIDADES 20
3. DÓNDE SE RESTAURA: CRITERIOS EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PAPEL 21

CAPÍTULO 2. PAPEL, PAPIRO, PERGAMINO 23
1. DEFINICIÓN DEL PAPEL 23
2. LOS PROCESOS BÁSICOS EN LA ELABORACIÓN DEL PAPEL 27
2.1. *La preparación de la pasta* 28
2.2. *La formación del papel* 28
2.3. *Otros procesos y otra definición de «papel»* 28
3. RASGOS DEL PAPEL 29
3.1. *Gramaje* 29
3.2. *Transformación entre sistemas de medida del gramaje* 30
3.3. *Fibras* 32
3.4. *Encolado* 33
3.5. *Cargas* 33
3.6. *Otros factores* 34
4. OTROS SOPORTES DE LA ESCRITURA: PAPIRO Y PERGAMINO 35
4.1. *Papiro* 35
4.2. *Pergamino* 39

CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE FABRICACIÓN: DESCRIPCIÓN E HISTORIA 43
1. CHINA 43
2. JAPÓN 45
3. EL ISLAM 48
4. EUROPA 48
5. LA FORMA METÁLICA 50
6. LA VERJURA Y LA FILIGRANA 53
7. LA PILA HOLANDESA 55
8. LA FORMA MECÁNICA 58
9. EL ENCOLADO EN TINA 60
10. LAS PASTAS DE MADERA 62
10.1. *La pasta mecánica* 62
10.2. *Las pastas químicas* 63
10.3. *Las pastas semiquímicas* 65
11. LA SITUACIÓN CONTEMPORÁNEA 65

CAPÍTULO 4. LAS FIBRAS DEL PAPEL 67
1. EL CONCEPTO DE «FIBRA DEL PAPEL» 67
2. MORFOLOGÍA 67
3. COMPOSICIÓN 69
4. LA CELULOSA 70
5. HEMICELULOSA 72
6. LIGNINA 73
6.1. *La tinción de Weisner* 74
7. LA ESTRUCTURA CELULÓSICA EN LAS FIBRAS DEL PAPEL 75
8. EL PUENTE DE HIDRÓGENO 77

CAPÍTULO 5. LOS ELEMENTOS SUSTENTADOS 81
1. MATERIALES DE APLICACIÓN EN SECO 81
1.1. *Lápices de grafito* 81
1.2. *Lápices de color* 82
1.3. *Pasteles* 82
1.4. *Carboncillos y lápices compuestos* 83
2. MATERIALES DE APLICACIÓN POR MEDIO HÚMEDO 83
2.1. Gouaches *y acuarelas* 86
2.2. *Tintas ferrogálicas* 87
2.3. *Tintas de pigmento y aglutinante* 88
2.4. *Tintas de rotulador, cuños, bolígrafos o estilográficas* 88
2.5. *Tintas de impresión* 89
3. LAS EXCEPCIONES 92

CAPÍTULO 6. LA ALTERACIÓN DEL DOCUMENTO 95
1. MANCHAS 95
2. DEGRADACIÓN QUÍMICA DEL PAPEL 98
2.1. *El* foxing 99
3. DEFORMACIÓN DEL PAPEL 101
4. ROTURA DEL PAPEL 102
5. ADHESIÓN DEL PAPEL 103
6. PÉRDIDAS DE PAPEL 103
7. PÉRDIDA DE LA CAPA SUPERFICIAL 106
8. DETERIORO DE LOS ELEMENTOS GRÁFICOS 107
9. OTRAS ALTERACIONES DEL PAPEL 109

CAPÍTULO 7. INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN 111
1. LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PAPEL DENTRO DE LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES: PRINCIPALES OPERACIONES 111
2. OPERACIONES DE LIMPIEZA 113
3. OPERACIONES DE BLANQUEO 113
4. OPERACIONES DE REINTEGRACIÓN 113
5. OPERACIONES DE REFUERZO 115
6. OPERACIONES DE DESACIDIFICACIÓN 116
7. OPERACIONES DE ALISADO 117
8. LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA 118

CAPÍTULO 8. LA LIMPIEZA DEL DOCUMENTO 119
1. LA ELIMINACIÓN DE MANCHAS 119
2. PROCESO GENERAL DE ELIMINACIÓN DE MANCHAS 119
3. LA LIMPIEZA MECANICA 120
4. SOLVENTES Y SOLUTOS 125
4.1 *Disolución selectiva* 126
5. LOS DISOLVENTES EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PAPEL 126
5.1. *La selección del disolvente* 127
5.2. *La aplicación del disolvente* 128
6. CASOS TÍPICOS 130
7. LAS ENZIMAS 133

CAPÍTULO 9. LOS BAÑOS Y LA HUMECTACIÓN 135
1. FUNCIONES DE LOS BAÑOS 135
2. RIESGOS DE LOS BAÑOS 136
3. LAS PRUEBAS DE SOLUBILIDAD 138
4. LA MANIPULACIÓN DE LAS HOJAS 139
5. DURACIÓN DE LOS BAÑOS 143
5.1. *Aceleradores de la humectación* 145
6. TRATAMIENTO ACUOSO DE ELEMENTOS SOLUBLES 146
6.1. *Aceleración del baño* 146
6.2. *Humectación controlada* 146
6.3. *Aplicación de vapor* 149
6.4. *Fijación e impermeabilización* 151
6.5. *Baños no acuosos* 153
6.6. *Interrupción del baño* 153

CAPÍTULO 10. OPERACIONES DE ALISADO 155
1. EL ALISADO DEL PAPEL: INTRODUCCIÓN 155
2. HUMECTACIÓN DEL PAPEL 157
3. ALISADO POR PRESIÓN 158
4. ALISADO POR TENSIÓN 163
5. PREPARACIÓN DE ÉTERES DE CELULOSA Y ALMIDONES 169
6. TRATAMIENTOS LOCALES 171
7. PROBLEMAS DE LOS PROCESOS DE ALISADO 172

CAPÍTULO 11. REPARACIÓN DE DESGARROS. REINTEGRACIONES 175
1. LA RESTAURACIÓN DE CORTES Y RASGADOS 175
2. REINTEGRACIÓN DE FALTANTES POR ADICIÓN DE PAPEL 181
3. REINTEGRACIÓN DE FALTANTES POR FORMACIÓN DE PAPEL 183
3.1. *La reintegración por formación de papel. Procesos manuales* 183
3.2. *La reintegración por formación de papel. Procesos mecánicos* 187
4. REINTEGRACIÓN POR LAMINACIÓN 191
5. REINTEGRACIÓN CROMÁTICA 191

CAPÍTULO 12. LA DESACIDIFICACIÓN DEL PAPEL 195
1. LA DESACIDIFICACIÓN 195

1.1. *El deterioro químico del papel: un «incendio lento»* 195
1.2. *Efectos de la desacidificación* 197
2. Los procesos de desacidificación individual por inmersión 198
2.1. *Desacidificación con hidróxido de calcio* 198
2.2. *La desacidificación con bicarbonato de calcio* 202
3. La desacidificación en masa 204
4. Alternativas para la desacidificación individual no acuosa 207

Capítulo 13. TÉCNICAS DE LAMINACIÓN Y REFUERZO 209
1. Tres maneras de reforzar una hoja de papel 209
2. Regeneración de los puentes de hidrógeno 209
3. Impregnación 210
4. Adhesión de refuerzos: la laminación 211
4.1. *La laminación con adhesivos en disolución* 211
4.2. *La laminación mediante adhesivos fundentes* 216
5. Una técnica en desuso: el encapsulado 219

Capítulo 14. EL BLANQUEO DEL PAPEL 221
1. Concepto de blanqueo 221
2. Problemas del blanqueo 221
3. Sistemas de blanqueo 223
4. Borohidruro de sodio 224
5. Hipoclorito sódico 227
6. Hipoclorito cálcico 229
7. Peróxido de hidrógeno 230
8. Protocolos de uso 231

Capítulo 15. LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA 235
1. ¿Conservación «preventiva» o «indirecta»? 235
2. Principales factores en conservación preventiva 236
3. Temperatura 236
4. La humedad relativa 237
5. Las radiaciones luminosas 238
6. Sistemas de monitorización de las variables ambientales 239
7. Modificación de las condiciones ambientales 242
8. Función *versus* conservación 244
9. Las condiciones ideales de conservación 245
10. Fundas, estuches y sistemas de exposición 249

Bibliografía 255

Libros recomendados 255

Más información sobre 257

PRÓLOGO

El lector, o al menos el lector ingenuo, podría pensar que existe *una* forma de actuar en conservación y restauración. Esto no es así. Las técnicas que usa cada restaurador o cada taller pueden ser muy diferentes entre sí, e igualmente válidas. Con el paso del tiempo, con la acumulación de experiencias, cada restaurador va seleccionando o adaptando una serie de técnicas, mientras que descarta otras. Con la repetición, se incrementa el dominio de una técnica, y con ello mejoran sus resultados; y cuantos mejores resultados produce una técnica, más atractiva resulta para el restaurador, que tiende a aplicarla más y más a menudo. Esto es enteramente lógico, aunque no debería cerrar las puertas a nuevas posibilidades que quizá, sólo quizá, podrían ayudar al restaurador a mejorar sus resultados en determinadas circunstancias. El hecho, sin embargo, es que los restauradores tienden a desarrollar su propio juego de recursos. De la misma manera que las paletas de dos pintores nunca son iguales, las técnicas empleadas por dos restauradores nunca son iguales. Ciertamente, las paletas de dos pintores se pueden parecer mucho entre sí, sobre todo si son dos pintores noveles, pero también pueden ser muy distintas. En la restauración ocurre algo parecido.

Este texto es una obra de carácter introductorio y general, pero inevitablemente refleja las querencias del autor, que a su vez son resultado de veinte años de experiencia en la práctica y en la enseñanza de la restauración del papel. Como ocurre a todos los restauradores, esta experiencia ha ido conformando un corpus de conocimientos y una forma de hacer razonablemente satisfactoria. Esta forma de hacer es la que se describe en esta obra.

Puesto que el libro tiene carácter introductorio, incluye unos capítulos iniciales que deberían permitir al lector conocer mínimamente con qué se la está jugando: hay una reflexión histórica sobre el papel, pinceladas sobre la química de la celulosa, nociones sobre materiales sustentados, etc. Son un pequeño peaje a pagar antes de llegar a las descripciones técnicas. Como todos los peajes, uno puede intentar evitarlo buscando caminos alternativos, pero al final estos suelen ser más incómodos y accidentados. Después, se explican las técnicas, con sus ventajas e inconvenientes.

Por supuesto, leer cómo se hace una cosa no quiere decir que se sepa hacer esa cosa. Cuando uno aplica las instrucciones es cuando descubre que hay detalles que cuidar, problemas que resolver, inconvenientes que

atender. O cuando descubre que, en efecto, no hay dos obras enteramente iguales, y que cada una responde de una manera levemente distinta ante un mismo tratamiento. Cuando uno aplica estrictamente las instrucciones es cuando descubre por qué esta disciplina es tan compleja y delicada, y también por qué saber de memoria las recetas no garantiza el éxito. Si se me apura, olvidar las mismas recetas que uno está aplicando es un indicativo mucho más fiable de la capacidad de una persona como experto en una actividad.

Esta obra describe una gama amplia de técnicas, que permiten satisfacer la práctica totalidad de los problemas. Muchas de ellas son perfectamente normales, y son de uso común por cualquier restaurador del papel. Sin embargo, algunas otras lo son menos. Tampoco son muy habituales ciertos enfoques o análisis que salpican el texto. Si el libro está bien hecho, estos análisis, estos enfoques, incluso la propia ordenación de contenidos, producirán la ilusión de ser naturales, casi obvios. Desde luego, el libro se ha escrito con la finalidad de producir esta ilusión.

En definitiva, este libro trata temas viejos con una mirada moderadamente personal. No se trata de una enciclopedia de restauración del papel (no podría serlo), sino de un texto que aspira a ser útil a aquellos que desean introducirse en el campo de la restauración del papel, y quizá también a restauradores con experiencia.

Para que la curiosidad tenga por dónde fluir, se ha incluido un listado de algunas obras especialmente recomendables y algunas referencias más especializadas relativas a cada uno de los capítulos. Esas referencias representan una línea de salida, pero no una línea de meta. En cierto modo, este libro también representa una línea de salida, o quizá una posta de avituallamiento: una incitación a aprender, o a aprender más cosas, y quizá también una incitación a hacer cosas, y a hacerlas con prudencia.

SALVADOR MUÑOZ VIÑAS

CAPÍTULO 1
LA RESTAURACIÓN DEL PAPEL. SITUACIÓN CONTEMPORÁNEA

1. QUÉ RESTAURAMOS

La conservación y restauración de obra gráfica, libros y documentos es una de las especialidades más extendidas. Sin embargo, paradójicamente, es una de las menos conocidas entre el público profano. Este campo de la conservación y restauración se encarga de conservar y restaurar un conjunto de materiales diversos, que incluyen objetos tan variados como:

- Textos impresos
- Manuscritos
- Planos y copias de planos
- Acuarelas, gouaches y otros tipos de pinturas realizados habitualmente sobre papel (ilustración 1)
- Grabados artísticos
- Sellos filatélicos
- Carteles (ilustración 2)
- Pasteles (ilustración 3)
- Dibujos en grafito, tinta (ilustración 4), carbón, tiza, ceras, lápiz de color, punta metálica, etc.

ILUSTRACIÓN 1. Los *gouaches* suelen ser pinturas de pequeño formato, pero también se pueden encontrar en formatos tan grandes como éste. El mero tamaño de la pieza, y la delicada naturaleza del papel hacen que su manipulación y restauración resulte a menudo extraordinariamente difícil.

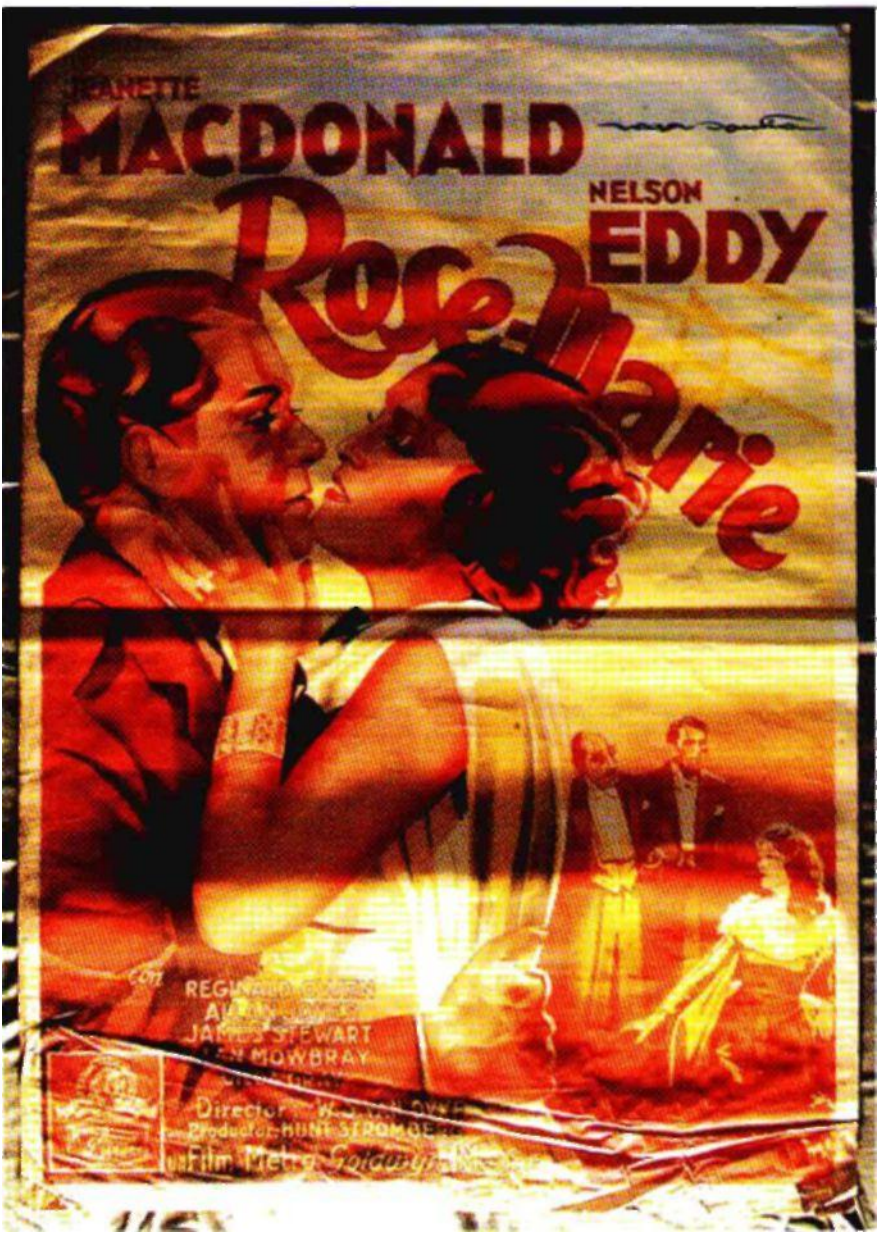


ILUSTRACIÓN 2. Fotografía en luz rasante de un cartel cinematográfico. Este tipo de iluminación pone de relieve las muchas deformaciones que presentaba esta pieza.

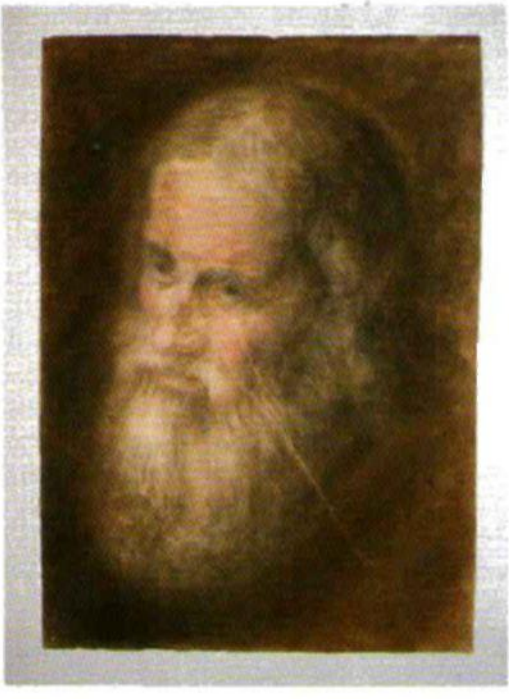


ILUSTRACIÓN 3. Un retrato al pastel, en el que se aprecia la característica textura aterciopelada de este tipo de obras.

ILUSTRACIÓN 4. Un dibujo a tinta atribuido a Julio González. El dibujo fue montado para su exhibición mediante la aplicación de adhesivo directamente sobre el papel, lo que puede tener repercusiones muy negativas para la conservación del papel.

Todos estos materiales suelen tener en común la base sobre la que se aplica, que es casi siempre el papel. Además, hay otros materiales que no son el papel y que también se han empleado para fines semejantes. En Europa, el pergamino y, con mucha menor frecuencia, el papiro, también han sido empleados para la elaboración de documentos, textos, libros o registros similares. El papiro fue empleado en el antiguo Egipto y de ahí pasó a emplearse en algunas zonas de Europa durante algún tiempo para usos muy excepcionales. Por el contrario, el pergamino fue empleado durante la antigüedad y la Edad Media como medio habitual para la elaboración de libros y documentos. La aparición de la imprenta en el siglo XV hizo posible la publicación masiva de libros, y con ello se hizo necesario un soporte de la información barato y abundante. A partir de este momento, el papel, que probablemente se conocía en Europa ya desde el siglo IX, se popularizó hasta convertirse en el principal soporte de la información, y el pergamino dejó de usarse, y pronto terminó por convertirse en una rareza. Así, este campo de la conservación y restauración también se ocupa de estos materiales:

- Manuscritos en pergamino (ilustración 5)

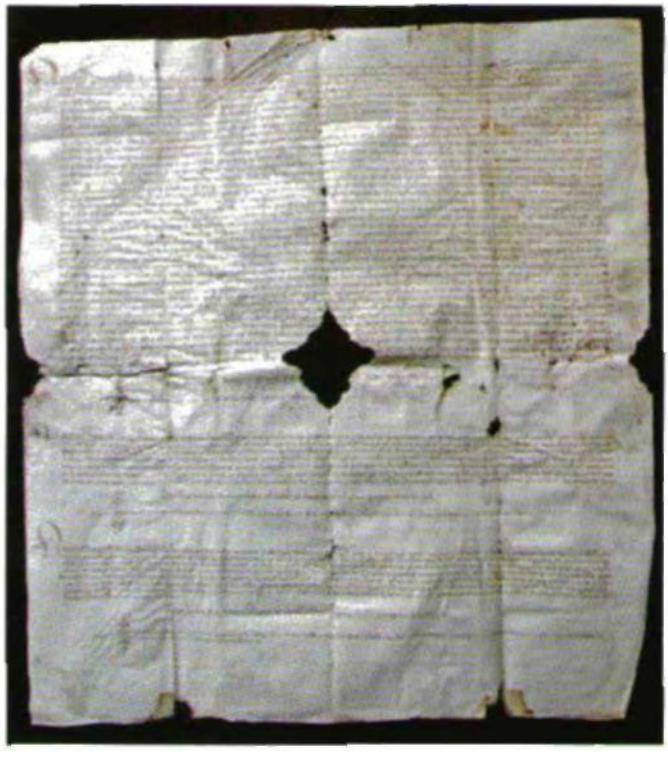


ILUSTRACIÓN 5. Un manuscrito sobre pergamino en el que se aprecian daños típicos como deformaciones, decoloración de las tintas y partes faltantes.

- Pinturas miniadas, que habitualmente acompañan estos manuscritos
- Excepcionalmente, documentos sobre papiro

Además, los formatos en los que se conservan estos materiales también son objeto de este campo. El formato de libro en códice (el mismo que se sigue usando actualmente, el mismo que tiene usted en sus manos mientras lee esto) fue el más empleado desde antiguo. Los libros en rollo o en hoja plegada se usaron en la antigüedad, pero se conservan muy pocos, y raras veces son objeto de restauración. En la práctica, se restauran también cosas como:

- Encuadernaciones (ilustración 6)
- Sellos, lacres
- Sobres, estuches, guardas de legajos, etc.

Y hay otro tipo de materiales cuya restauración se adscribe a este campo, por su carácter gráfico y/o documental, como por ejemplo:

ILUSTRACIÓN 6. La restauración de encuadernaciones es una actividad vinculada a este campo de especialización. En la fotografía se puede ver un par de volúmenes encuadernados en pergamino

- Fotografías (en cualquiera de sus modalidades: negativos y positivos, variedades antiguas y contemporáneas)
- Registros filmográficos
- Registros fonográficos
- Registros informáticos

Además, en el desarrollo de su trabajo, un restaurador de este campo puede encontrarse con cajas de regalo, recortables, globos terráqueos (ilustración 7), muñecas de cartón, juguetes de *papier maché*, papeles pintados, y otros muchos objetos similares (ilustraciones 8 y 9); estos casos son bastante excepcionales, pero ocurren, y nos dan una idea de la tremenda variedad de problemas a los que puede encontrarse un restaurador del papel.

ILUSTRACIÓN 7. Los globos terráqueos están habitualmente fabricados con gajos de papel adheridos a una pieza esférica. Por este motivo, su restauración se asigna a restauradores de este campo.

ILUSTRACIÓN 8. Una cabecera de un almanaque propagandístico de una marca de papel de fumar. Esta pieza está compuesta por varias hojas de papel laminado y *gofrado* (el gofrado es una técnica mediante la cual se confiere relieve a un papel, deformándolo deliberadamente). A su vez, las hojas de papel han sido impresas con diversas técnicas. Para mayor complicación, las letras que componen el nombre de la empresa «Bambú» han sido realizadas en metal e incrustadas en su lugar.

ILUSTRACIÓN 9. En ocasiones, es posible encontrar objetos que desafían cualquier clasificación. En la fotografía se observa un diploma adherido a un marco dorado realizado con cartón y decorado con flores de tela y papel. Estos objetos suelen presentar retos técnicos y teóricos de gran complejidad.

2. LAS MICROESPECIALIDADES

Esta variedad hace necesaria la aparición de las especializaciones. Desde el exterior, a menudo se espera que los campos de especialización respondan a criterios exteriores a la conservación y restauración. Por ejemplo, se podría esperar que hubiese restauradores especializados en obras de arte sobre papel, en documentos sobre papel, o en documentos sobre pergamino. En la práctica, esto no es así. Las especializaciones responden a criterios propios de la conservación y restauración, y se establecen en función de la similitud de problemas y procesos de conservación; es decir, las especializaciones dentro de este campo se establecen agrupando aquellos objetos que presentan problemas similares y que responden a similares procedimientos. En la práctica, las principales especializaciones que generalmente se reconocen en el campo de la conservación y restauración de obra gráfica, libros y documentos son las siguientes:

- Conservación y restauración de textos impresos y manuscritos
- Conservación y restauración de dibujos y grabados
- Conservación y restauración de libros y encuadernaciones
- Conservación y restauración de fotografías

Además, en función de sus intereses, capacidades y experiencia, cada restaurador puede especializarse en campos más restringidos dentro de los anteriores: hay especialistas en conservación y restauración de sellos filatélicos, de carteles o de dibujos orientales, por poner un ejemplo. Sin embargo, es poco habitual que este tipo de especialización tenga algún reconocimiento formal; se trata más bien de parcelas en las que el restaurador ha alcanzado especial destreza, y no suelen excluir la práctica de otras actividades de la restauración del papel.

3. DÓNDE SE RESTAURA: CRITERIOS EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PAPEL

La conservación y restauración de obra gráfica, libros, y documentos se practica esencialmente en tres tipos de centros: bibliotecas, archivos, y museos. Además, por supuesto, se practica en talleres privados y en centros de conservación y restauración de ámbito general. Esto es interesante, porque cuantitativamente la mayor parte de los trabajos de conservación y restauración de nuestro campo se desarrollan en centros en los que lo primordial no es la naturaleza artística del objeto, sino su contenido. Es decir, lo primordial no es la capacidad del objeto para producir sensaciones de tipo estético, sino la información que transmite. Esto es lógico si pensamos en que, efectivamente, los libros, los documentos, los periódicos, que se hallan en bibliotecas, en archivos o en hemerotecas, se conservan como registros de información, y no como objetos de disfrute visual. Aunque en este sentido todo es posible, no es habitual que las personas que consultan las hemerotecas lo hagan para disfrutar del diseño de los textos, de la armonía de la composición tipográfica, de la proporción entre la caja de texto y los márgenes de la hoja. Lo normal es que consulten los diarios en busca de algún dato históricamente significativo, de algún nombre, alguna fecha, algún artículo que ponga de relieve algún estado de pensamiento. Del mismo modo, lo que interesa a un investigador trabajando en un archivo no es la delicadeza del trazo con que se escribieron los textos en un testamento, sino los nombres, las fechas, las condiciones que establece ese testamento.

Como hemos dicho, cuantitativamente la mayor parte de los trabajos de conservación y restauración que se hacen en nuestro campo se desarro-

llan en bibliotecas y archivos, por lo que, en la práctica, el principal objetivo de los restauradores no es restaurar la apariencia original de los objetos, sino conservar la información que contienen. La información es el objetivo principal del restaurador en este campo.

Hemos dicho «conservar» la información. ¿Por qué no «restaurar» la información? Porque la información no puede ser restaurada más que por medios propios del historiador. Imaginemos que tenemos un documento único, un manuscrito. En este manuscrito, la tinta esta desprendida en determinados lugares, y el texto se lee a duras penas. El restaurador podría reintegrar esos trazos, haciéndolos claramente legibles. ¿Cuál ha sido la ganancia obtenida? Facilitar la lectura, pero esto no es mucho, porque en realidad el documento ya se podía leer antes; si el restaurador ha podido hacerlo, con más razón podrá hacerlo un lector que probablemente será un historiador con experiencia y con conocimientos de paleografía que, presumiblemente, serán superiores a los del restaurador. Si por el contrario la parte perdida del documento impide la lectura de un fragmento importante, entonces el restaurador no debería inventar y recrear ese fragmento; estaría engañando (o al menos induciendo al error) a los investigadores que después accedan a ese documento, quienes no tienen ningún motivo para confiar en que la formación histórica o paleográfica del restaurador sea superior a la suya. Incluso en el caso de documentos impresos de los que se conozcan varias copias, como libros o publicaciones periódicas, no es habitual la reintegración de textos o de información. El motivo es similar: el investigador debe conocer él mismo dónde localizar y acceder a esas copias, de forma que la laboriosa reintegración de faltantes tampoco es muy útil en estos casos. Por ello, el restaurador de este campo en realidad restaura muy poco, pero conserva mucho. Es, con claridad, un conservador antes que un restaurador. Su trabajo, su esfuerzo, sus técnicas, están fundamentalmente destinadas a evitar que la información se pierda. Como veremos, esta circunstancia es crucial para entender muchos aspectos de su trabajo.

Por el contrario, en el caso de muchos grabados o dibujos sí se espera que produzcan una determinada sensación estética. En estos casos, es habitual la práctica de la reintegración, tanto del soporte como cromática. Este tipo de operaciones son muy vistosas, y resultan muy llamativas para el público. Como son fácilmente perceptibles, los espectadores tienden a pensar que las reintegraciones son la principal ocupación de los conservadores de nuestro campo, pero como hemos dicho, esto no es así. Cuantitativamente, este tipo de procesos son poco significativos. Cualitativamente, sin embargo, en la apreciación de los espectadores profanos son muy importantes.

CAPÍTULO 2

PAPEL, PAPIRO, PERGAMINO

1. DEFINICIÓN DEL PAPEL

Todos sabemos lo que es el papel. Es un material con el que estamos muy familiarizados, porque nos rodea casi constantemente: probablemente el lector comenzó a escribir sobre él hace muchos años, y probablemente ahora lo esté tocando con sus manos mientras sostiene este libro. El papel se da en muchas variedades, y se emplea para una enorme variedad de funciones, desde las más dignas y elevadas a las más innobles: sencillamente, forma parte de nuestra vida, de nuestra cultura, de nuestro entorno. Tanto es así, que a menudo lo damos por sentado, como damos por sentado que abriendo un grifo va a salir agua, o que conectando un interruptor se va a encender una luz. Por ello precisamente tenemos un conocimiento funcional de lo que es el papel: sabemos cuánto resiste, qué pasa cuando se moja, lo rápido que se puede quemar, lo ligero que resulta, las variedades que se pueden encontrar habitualmente, los precios de algunos de ellos, su comportamiento ante determinados instrumentos de escritura o dibujo, su aspecto, etc. Eso nos basta para movernos en nuestra sociedad: como casi todos los demás tienen un conocimiento similar, podemos intercambiar ideas y datos con precisión suficiente para saber lo que queremos decir.

Pero si vamos a trabajar con el papel, y concretamente si vamos a trabajar restaurando el papel, ese conocimiento no basta. Necesitamos saber más cosas sobre él, y en primer lugar, necesitamos saber con cierto grado de precisión qué es el papel. Nuestro objetivo ahora es contestar a esta pregunta con el mayor rigor posible.

Esta pregunta es aparentemente sencilla de responder: si la hacemos a cualquier persona, lo más probable es que responda cosas como «es una cosa que sirve para escribir» o «es un material hecho de celulosa con forma plana». Estas definiciones pueden parecernos correctas en un principio, pero eso se debe a que ya tenemos una idea empírica de lo que es el papel. Pero imaginemos que no fuese así: si aceptamos que el papel puede definirse como «una cosa que sirve para escribir» sin saber a priori qué

cosa es el papel, tendríamos que aceptar que un bolígrafo es un tipo de papel, que un ordenador como el que estoy empleando para escribir esto es otro tipo de papel, o que el propio procesador de texto es un tipo de papel —incluso que las manos son una variedad de papel—, porque, de hecho, todas estas cosas sirven para escribir. Y si aceptamos que el papel es «un material hecho de celulosa con forma plana», entonces también tendríamos que aceptar que una hoja de árbol es un tipo de papel, que una chapa de conglomerado es un tipo de papel, o que los paños de algodón (o de lino, o de cualquier tipo de fibra vegetal) son variedades de papel, o incluso que una puerta de madera es un tipo de papel.

No, estas no son definiciones correctas. Una definición correcta debe establecer unos límites conceptuales lo más precisos posible. Debe excluir todo lo que no es y debe incluir todo lo que sí es. Por ejemplo, en el caso de las dos definiciones anteriores, los límites conceptuales incluían cosas que no son papel (como un ordenador o una tela). Pero además la primera definición también deja fuera cosas que sí son papel, como el papel charol o el papel parafinado que se emplea en las carnicerías para envolver el género, porque no sirven para escribir.

Establecer una definición precisa suele resultar muy interesante no sólo como una exigencia intelectual más o menos académica, sino también porque para hacerlo debemos identificar y poner de relieve aquellos rasgos que son comunes a todas las variedades de lo definido; en nuestro caso, debemos averiguar qué es lo que hace que un papel sea un papel, independientemente de que sea grande, pequeño, blanco o negro, grueso o fino, fuerte o débil, liso o rugoso, o del uso a qué se destine.

Quizá el rasgo más notable de entre todos los rasgos comunes a todos los papeles es que todos son planos, o para ser más exactos, laminares: son objetos con forma de lámina, al margen de que esa lámina tenga superficies lisas o rugosas, o de que pueda ser arrugada o rasgada. Ésta es una característica bastante evidente, aunque de nuevo se podría intentar encontrar contraejemplos que nos ayuden a pulir esta idea. Por ejemplo, podríamos preguntarnos si una figura modelada o moldeada en papel, como las Meninas del Equipo Crónica, una escultura en papel, o una máscara veneciana son papel o no. Estos objetos no tienen forma laminar, y por lo tanto no reúnen esta característica que se está describiendo como propia del papel. Se podría responder diciendo que un *ninot*, una máscara, o una Menina de los Crónica no son papel; fueron papel, y están hechos de papel, pero una máscara venecciana es una máscara veneciana, una escultura de papel es una escultura de papel, y una Menina de los Crónica es una Menina de los Crónica y no un tipo de papel. Sin embargo, igualmente se podría argumentar que el papel no tiene que existir necesariamente en forma de hoja.

ILUSTRACIÓN 1. Un buda de *papier maché* fabricado en Asia el siglo XIX y ahora conservado en el British Museum. ¿Es esto papel? ¿O simplemente está hecho con papel?

Este problema revela que en el lenguaje común el término «papel» puede tener dos acepciones. La primera acepción incluye la naturaleza laminar del papel, y describe una categoría de objetos muy habitual: las hojas de papel. La segunda acepción describe el material sin hacer alusión a su morfología, un uso semejante al de términos como «acero» o «madera». Ambas posturas son defendibles, pero en este libro se empleará la primera, que corresponde al uso más habitual de la expresión —y que es técnica y lógicamente más interesante para el restaurador—. Así, se asumirá que ser laminar es un rasgo del papel y, consecuentemente, que un *ninot* de una falla valenciana está hecho de papel, pero no es un papel: es un *ninot*.

Los siguientes rasgos definitorios no son tan notables como la laminaridad, al menos no a simple vista: lo serían si observásemos el papel mediante un microscopio, porque veríamos entonces que está compuesto por fibras, fibras individuales que se entrelazan entre sí de forma aparentemente aleatoria formando un complejo entramado. Como veremos, esas fibras son en realidad células vegetales muertas, de las que sólo queda la membrana, que está compuesta esencialmente por celulosa; pero lo interesante ahora es constatar este hecho, porque este rasgo diferencia al papel de otros materiales que también están compuestos por elementos celulósicos, como el paño de algodón del que hablábamos antes. Efectivamente, aun-

ILUSTRACIÓN 2. Macrofotografía de un papel de oficina común. La zona rasgada mide aproximadamente diez milímetros de largo. A esta escala se pueden distinguir fácilmente las fibras del papel y su disposición aleatoria.

que el paño de algodón está también compuesto por fibras vegetales, en él la disposición no es aleatoria, sino que se percibe con claridad un proceso de tejido. Y aunque en una chapa de conglomerado las fibras están dispuestas aleatoriamente, no son fibras individuales, sino pequeños fragmentos de madera, cada uno de los cuales contiene varias células que no han sido separadas unas de otras. Sin embargo, los papeles están compuestos por fibras vegetales individuales.

Así, se puede definir el papel como un producto de forma laminar que está compuesto por fibras vegetales sueltas dispuestas de forma aleatoria, o por acortar aún más, como una lámina formada por fibras vegetales sueltas aleatoriamente dispuestas. Las referencias a la celulosa que a veces se encuentran en algunos textos son en realidad superfluas, porque de hecho todas las fibras vegetales están compuestas esencialmente por celulosa. Esta definición es enteramente satisfactoria. Como se verá más adelante, la única modificación de relevancia que puede introducirse sería la sustitución de las palabras «aleatoriamente dispuestas» por una referencia a la manera en que se fabrica el papel.

2. LOS PROCESOS BÁSICOS EN LA ELABORACIÓN DEL PAPEL

En su forma más básica, la fabricación del papel consta de dos procesos: la preparación de la pasta, y la formación del papel.

ILUSTRACIÓN 3. La pulpa del papel presenta típicamente un aspecto de papilla grumosa, como se observa en la fotografía.

2.1. La preparación de la pasta

La pasta del papel está compuesta por fibras vegetales separadas y purificadas hasta hacerlas aptas para la fabricación del papel.

La preparación de la pasta consiste en procesar la materia prima (el propio vegetal, telas u otros papeles) hasta hacerla adecuada para la fabricación del papel. Esto significa al menos dos cosas:

1. Separar unas fibras de otras.
2. Eliminar las impurezas no deseadas que pueda haber, limpiando la suciedad y extrayendo los materiales no celulósicos que haya en la fibra (como el citoplasma y el núcleo de la célula, y otras impurezas presentes en la membrana).

2.2. La formación del papel

La producción de la lámina de papel a partir de la pasta se llama «formación» del papel. Consiste en filtrar la pasta a través de un tamiz, que retiene las fibras y deja pasar el agua. Cuando después esas fibras se secan producen la hoja de papel propiamente dicho. Ese tamiz se denomina «forma». Más adelante se verá en detalle la evolución histórica de las formas, y sus ventajas e inconvenientes, pero de momento bastará con entender que la preparación de las pastas y la formación de la hoja son los elementos imprescindibles para la fabricación del papel.

2.3. Otros procesos y otra definición de «papel»

El fabricante puede aplicar otros muchos procesos además de los ya descritos (encolado, adición de cargas, el bruñido de la superficie, etc.), pero estos procesos son opcionales: se puede fabricar papel sin añadir cargas o colas, pero nunca sin preparar las pastas y formar el papel. Estos dos procedimientos son, por lo tanto, el mínimo común denominador de todos los tipos de papel posibles. Si se quiere aprovechar esta información en la definición que estamos elaborando, podríamos dejarla así: «el papel es una lámina producida por la filtración y secado de fibras vegetales sueltas». Esta definición es ligeramente más exacta que la anterior, y, por lo tanto, técnicamente preferible.

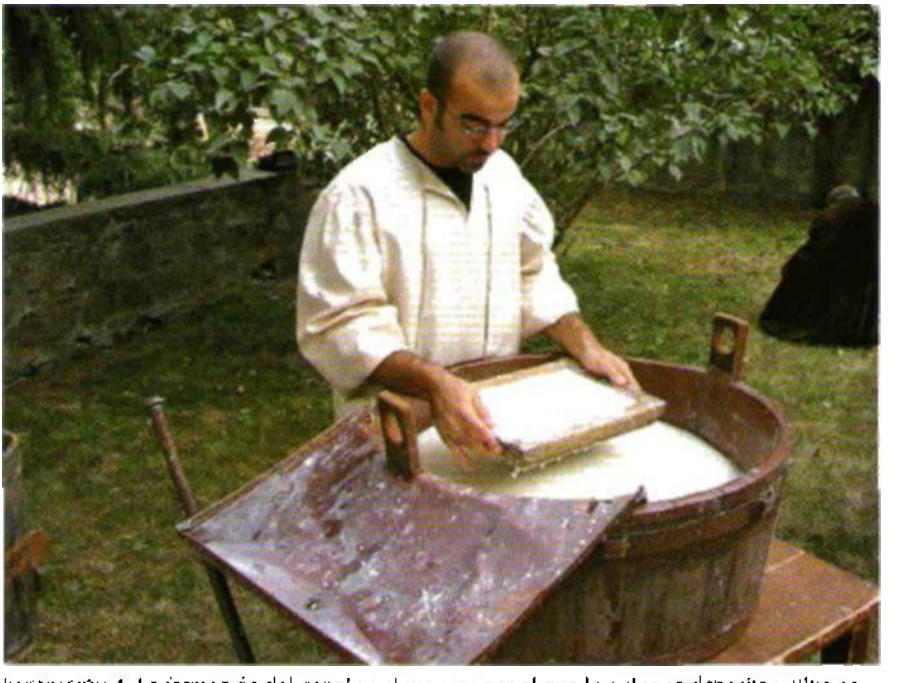


ILUSTRACIÓN 4. La formación del papel es el proceso por el que la pulpa se deposita y filtra sobre un tamiz. Desde su introducción en Europa y hasta el siglo XIX, el papel se formó de manera muy similar a la que aparece en la fotografía: el formador introducía la forma en la tina y procuraba que la pulpa se distribuyese de manera homogénea sobre ésta

3. RASGOS DEL PAPEL

3.1. GRAMAJE

El gramaje indica el peso de un papel. Habitualmente, los usuarios tienden a relacionar el gramaje con el grosor de un papel, pero esto puede no ser exacto: podemos encontrar papeles de distinto espesor con igual gramaje, y viceversa.

El gramaje se expresa mediante unidades de peso y superficie. La unidad de medida del gramaje más extendida es el gramo por metro cuadrado (gr/m^2). Esta unidad, basada en sistema métrico decimal, es muy común en los países en los que se emplea este sistema de medida. Sin embargo, no lo es tanto en países en donde se trabaja con otros sistemas, y en particular en los países de habla anglosajona, donde con frecuencia aún se emplean medidas basadas en el peso de una resma de papel (una resma es un paquete de hojas de papel generalmente compuesto por 500 hojas). Este

sistema es el que los fabricantes de papel empleaban antiguamente en todo el mundo: el papel se vendía a peso, y las compras se hacían en paquetes de 500 hojas. Sin embargo, este sistema resulta bastante incómodo e impreciso, porque el tamaño de esas hojas (y por lo tanto, el peso del paquete) no es fijo, y puede variar mucho sin que en realidad varíe el tipo de papel. Por consiguiente, con los sistemas basados en la resma, un mismo tipo de papel puede tener distintos pesos. Por ejemplo, una resma de hojas de 70 × 50 cm tendrá la mitad del peso que tendría una resma de hojas de 100 × 70 cm de ese mismo papel. Este inconveniente hace que los sistemas basados en resmas sean más problemáticos desde un punto de vista técnico. Por el contrario, la unidad gr/m^2 informa sobre el tipo de papel, sin que sea necesario conocer su formato.

Es importante tener presente que cuando se expresa el gramaje de un papel es muy frecuente omitir la unidad de superficie, que se da por sobreentendida. Así, se suele hablar de «papel de 80 gramos» o de «papel de 12 kilos», y no de «papel de 80 gramos por metro cuadrado» o de «papel de 12 kilos por resma de tal o cual tamaño».

3.2. Transformación entre sistemas de medida del gramaje

Es interesante saber traducir las diversas unidades de medida, para lo que basta establecer una sencilla regla de tres:

x gramos → 1 m^2
x gramos → número de hojas × largo × ancho

Las unidades de medida deben ser las mismas entre ambos términos, así que es necesario expresar las dimensiones de las hojas de la resma en metros. Por ejemplo, si queremos saber cuántos gramos por metro cuadrado equivalen a 43 kilos por resma de 500 hojas de 50 × 70 centímetros hay que establecer la relación siguiente:

x gramos ——— 1 metro cuadrado
43.000 gramos —— 500 × 0,7 × 0,5 metros cuadrados

Es decir:

x gramos ——— 1 metro cuadrado
43.000 gramos —— 175 metros cuadrados

Por lo tanto,

$x = (43.000 \times 1) / 175$

esto es,

$x = 245,7$

Por ello, nuestro papel de «43 kilos» (esto es, de 43 kilos por resma de 70 × 50 cm) tiene el mismo gramaje que uno de «245 gramos» (esto es, de 245 gramos por metro cuadrado).

También es importante conocer de forma aproximada qué tipo de papel indica cada medida. Por ejemplo, un papel de tipo medio, como el que se emplea habitualmente en los folios para escribir cartas, tomar apuntes, o realizar fotocopias suele pesar en torno a los 80 gramos. Un papel de 200 gramos es ya un papel grueso, que puede estar cercano a lo que en España se conoce como «cartulina». Por el contrario, un papel de 25 gramos es un papel muy fino, como el que se emplea en papeles de fumar o similares.

El gramaje de un papel indicado por el fabricante no es una medida completamente exacta. Ni siquiera las máquinas de hacer papel más avanzadas pueden producir un papel de gramaje constante a lo largo de toda la producción, así que cabe esperar pequeñas desviaciones (en torno al 5 por 100) del peso indicado. Por ejemplo, si se mide el gramaje de una hoja de 80 gramos nominales, se pueden encontrar gramajes reales de 83 o de 78 gramos.

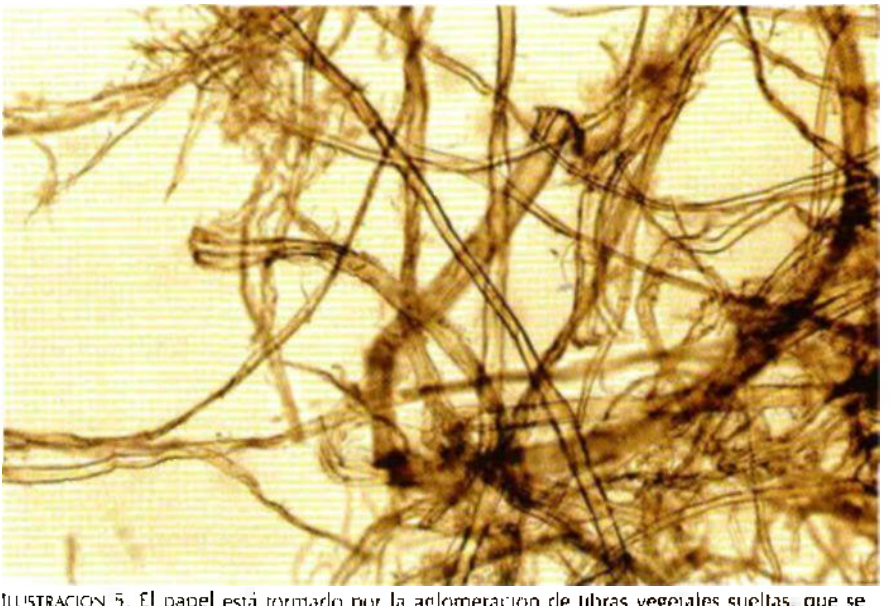


ILUSTRACIÓN 5. El papel está formado por la aglomeración de fibras vegetales sueltas, que se disponen de forma aleatoria formando una lámina. Para facilitar el proceso de formación del papel, muchas fibras vegetales son trituradas antes de la fabricación de la hoja, como se observa en esta microfotografía, en la que aparecen fibras de un papel fabricado en el siglo XVII. Las fibras del papel suelen tener un aspecto translúcido e incoloro, el color de las fibras de esta figura se debe a que han sido teñidas para hacer más visible su morfología, una práctica muy común en microscopía óptica.

La medición del gramaje del papel, por otro lado, es muy sencilla. A efectos prácticos basta con emplear una balanza que alcance una precisión de una centésima de gramo, y tener una muestra del papel a medir (cuanto más grande sea la muestra, más precisa resultará la medida). Conociendo la superficie de la muestra basta repetir los cálculos que hemos visto arriba para obtener un resultado razonablemente preciso. Los posibles elementos gráficos que pueda sustentar el papel no suelen ser relevantes, y pueden ignorarse salvo en casos extremos, como cuando el papel está totalmente cubierto por una serigrafía densa, o por una capa de *gouache*.

3.3. Fibras

Un papel siempre está formado por fibras vegetales, pero estas fibras vegetales pueden ser muy distintas. Las fibras pueden distinguirse por muchas características, y cada una de las características hará que el papel resultante se comporte de una forma u otra. Hablaremos más detenidamente de las fibras, pero ahora podemos adelantar que las fibras del papel sólo tienen en común una cosa: son de origen vegetal, y tienen como componente principal la celulosa. El resto de características puede variar mucho.

Así, por ejemplo, las fibras pueden provenir de muchos tipos de plantas, pero podemos dividir esa variedad enorme en dos grupos fundamentales: árboles y plantas anuales (por planta anual entendemos aquí cualquier planta que muere cuando llega el invierno y rebrota en primavera).

Cuando las fibras se extraen del vegetal, sufren un tratamiento destinado a adecuarlas lo más posible a la fabricación del papel, y en concreto a la fabricación de un tipo de papel específico. También describiremos con cierto detalle los procesos a los que se someten las fibras del papel, pero de momento cabe destacar tres fases principales:

— Desfibrado (separación de los tejidos vegetales en fibras individuales).
— Purificación (eliminación de compuestos no celulósicos).
— Refino (troceado y triturado de las fibras).

Ciertamente, hay papeles que se fabrican reciclando otros papeles, pero aun en este caso estamos hablando de fibras vegetales de un origen determinado; la única diferencia con los otros papeles es que sus fibras han experimentado un proceso de elaboración algo más largo y reiterado, pero no es una diferencia que se pueda considerar esencial.

3.4. Encolado

Los papeles se encolan sobre todo para reducir su porosidad y permitir, por ejemplo, que se pueda escribir sobre ellos sin que se corra la tinta. Podemos distinguir tres rasgos que influyen de forma determinante sobre el comportamiento del papel:

- Tipo de cola. Las colas que se aplican al papel pueden ser de muy diversos tipos. El más habitual hoy día es la cola de colofonia, cuyo sistema de aplicación se descubrió a principios del siglo XIX. Anteriormente, se empleaban colas de gelatina y alumbre.
- Tipo de encolado. La forma más sencilla de encolar un papel es aplicar la cola mediante una brocha; es lo que se llama «encolado superficial», porque la cola permanece sobre todo en la superficie. Pero también puede añadirse la cola directamente a la pasta con la que se forma el papel; de esta manera, cuando el papel se seca, la cola queda repartida por igual a lo largo de todo el espesor del papel: es lo que se conoce como «encolado interno», o «encolado en tina». En la actualidad, la mayor parte de los papeles que se producen están encolados mediante este sistema.
- Grado de encolado. Obviamente, cuanta más cola se aplica a un papel, menos absorbente resulta.

Hay un tipo de papel que constituye un caso especial por su tipo y grado de encolado: los papeles *couché*. Los papeles *couché* reciben un encolado superficial muy abundante, con el fin de conferirles un aspecto especialmente liso y brillante, y de hacerlos muy poco poroso. De esta manera, el papel puede soportar técnicas de impresión de alta calidad y precisión sin que la tinta experimente la menor alteración: si el papel fuese absorbente, los pequeños puntos de tinta que se emplean para reproducir con precisión delicados matices de color se expandirían, alterando los colores resultantes y reduciendo la nitidez. Por ello, el papel *couché* es muy empleado cuando se tiene que imprimir imágenes fotográficas a color.

3.5. Cargas

Las cargas son materiales sólidos finamente molidos que se añaden al papel para mejorar o alterar sus características. Muchos materiales pueden actuar como cargas en un papel: carbonatos de calcio o de magnesio, caolín, sílice, dióxido de titanio, etc. Las cargas pueden cumplir muchas funciones. Originalmente, cuando el papel se vendía a peso, incluso servía para aumentar las ganancias de los artesanos papeleros, al aumentar el

peso final del papel; en la actualidad se pueden emplear para fines tan variados como reducir la velocidad de combustión del papel (en los papeles de fumar) o para aumentar su opacidad. Sin embargo, las cargas se emplean básicamente con dos objetivos primordiales:

— Impartir color. Las cargas pueden ser pigmentos colorantes de cualquier tono, aunque en realidad los papeles de colores suelen estar teñidos. De hecho, las cargas blancas son, con mucho, las más habituales. Existen incluso blanqueadores ópticos, que confieren al papel una luminosidad añadida.

— Homogeneizar la superficie y reducir la porosidad. La aplicación de cargas finas contribuye a proporcionar al papel un aspecto más liso y satinado.

Los papeles *couché* son un ejemplo particular de estos usos de las cargas. La capa de cola que se les aplica en su superficie suele contener una abundante proporción de cargas, que proporciona a sus caras un color blanco típicamente intenso y suave. En realidad, esa capa es el equivalente a la imprimación de un lienzo: cumple funciones similares, y tiene componentes (cola y cargas) esencialmente similares.

3.6. Otros factores

Hay otros factores que contribuyen de forma importante a determinar el comportamiento y características de un papel:

— Sistema de fabricación. El papel puede hacerse de forma manual o mecánica. Según la forma en la que se elabore, reunirá unas condiciones u otras. Entre los aspectos que más varían según el sistema de fabricación destacan la homogeneidad superficial, las resistencias físicas y la anisotropía ante la humectación.

— Aplicación de relieves. Durante el proceso de fabricación se pueden hacer que algunas zonas tengan más o menos espesor que el resto, creando texturas o figuras. Por ejemplo, se les puede aplicar una textura compuesta por finas acanaladuras paralelas, como en el caso de los papeles Ingres, o una que imite la trama y urdimbre de un tejido, como ocurre en determinados papeles de escritura. O se puede hacer que hayan partes menos gruesas que formen un dibujo o un texto que se perciba al mirar el papel al trasluz, como ocurre, por ejemplo, en los billetes de banco.

— Bruñido. También se puede bruñir el papel para reducir la rugosidad propia de sus fibras. Tradicionalmente el bruñido se hacía manual-

mente, pero en la actualidad los papeles industriales se pasan por unos rodillos o «calandras», que giran a velocidades distintas al papel, frotándolo y produciendo un efecto similar al bruñido manual.

— Prensado. Existen diversos métodos para aumentar la densidad y resistencia de un papel; el más sencillo es el prensado del papel, en especial cuando todavía está húmedo.

— Teñido o blanqueado. Las fibras del papel suelen tener un color que no es totalmente blanco. Para conseguir el tono blanco se recurre en la mayor parte de los casos a blanquear las fibras por medios químicos, y en particular al blanqueo por oxidación, un proceso similar al que producen las lejías en la ropa. Por el contrario, cuando se quiere conferir color a un papel, el sistema más frecuente es el teñido de las fibras.

4. OTROS SOPORTES DE LA ESCRITURA: PAPIRO Y PERGAMINO

Además del papel, otros materiales fueron empleados como soporte de la escritura: tablas de madera, fragmentos de arcilla, pizarrillas de cera, cañas de bambú, tejidos, etc. De entre ellos, el pergamino y el papiro merecen especial atención, por su proximidad cultural o porque pueden servir para reafirmar algunos conceptos descritos arriba.

4.1. Papiro

El papiro es el material escritorio característico del antiguo Egipto. Su empleo se inició hacia el cuarto milenio antes de Cristo, y sólo comenzó a decaer hacia el principio de nuestra era, cuando entró en competencia con el pergamino. Su fabricación desapareció finalmente en torno a los siglos IX y X de nuestra era, cuando el papel se generalizó en Egipto. Para entonces, el papiro era también producido en Sicilia, donde se prolongó su manufactura a pequeña escala durante algún tiempo más. En la actualidad, se ha retomado su fabricación, en buena medida para producir *souvenirs* turísticos.

En realidad, el papiro fue uno de los más importantes soportes de la escritura en las civilizaciones antiguas: durante el primer milenio antes de Cristo y hasta la aparición de otros soportes alternativos, fue usado de forma abundante en Roma, en Persia, en la Grecia clásica, en Palestina y en Siria. Plinio, en el siglo I, afirmaba que «de su uso para la fabricación de rollos de texto depende quizá la supervivencia de la humanidad, y como mínimo, su recuerdo». Después convivió con el pergamino, y sólo la aparición del papel determinó su abandono.

La fabricación del papiro se hacía a partir de la materia prima que proporcionaba la planta del mismo nombre. La planta del papiro crecía en marjales y lagunas, y producía largos tallos lisos de tres y cuatro metros, al final de los cuales surgía la flor característica que podemos ver en tantas pinturas egipcias. Los troncos eran cortados longitudinalmente en láminas finas, que se disponían unas sobre otras, formando láminas. Después, el conjunto se aplastaba y se dejaba secar. Los propios jugos de la planta actuaban como adhesivo y endurecedor, produciendo una hoja fuerte, de color ocre y textura irregular. Como resultado de este sistema de fabricación, la superficie del papiro es bastante más irregular que las superficies de escritura a las que hoy estamos acostumbrados. Por otro lado, dado que la hoja se fabricaba añadiendo tiras rectangulares de papi-

ILUSTRACIÓN 6. Aunque también es de origen vegetal, el papiro se fabrica de modo distinto al papel. En primer lugar, el tronco de la planta del papiro se corta en pedazos transversalemente.

ILUSTRACIÓN 7. Después, se retira la corteza, y la médula se corta longitudinalmente.

ILUSTRACIÓN 8. Los haces fibrosos son alisados para formar tiras planas de unos pocos centímetros de ancho.

ILUSTRACIÓN 9. Las tiras de papiros se colocan una al lado de la otra, y luego se cubren perpendicularmente con otras tiras, que después se colocarán en una prensa para que se adhieran entre sí gracias al propio mucílago de la planta.

ILUSTRACIÓN 10. La prensa uprime el papiro, escurriéndolo y uniendo las distintas tiras entre sí.

ro, ésta podía hacerse tan larga como se quisiera, lo que era especialmente adecuado para la fabricación de rollos.

ILUSTRACIÓN 11. Cuando el conjunto se seca, el resultado es una hoja plana, tosca e irregular, pero muy barata y duradera.

4.2. PERGAMINO

El pergamino es el soporte más representado en las bibliotecas históricas europeas después del papel, y el más empleado en ese gran lapso de tiempo que conocemos como Edad Media. El historiador romano Plinio atribuye la invención del pergamino al rey Eumenes II de Pérgamo, quien a mediados del siglo II a.C. estaba logrando reunir en su ciudad una biblioteca de tal importancia que los egipcios pensaron que podría llegar a rivalizar con la legendaria biblioteca de Alejandría; por este motivo, prohibieron el suministro de papiro a Pérgamo, creyendo que esto bastaría para frenar el desarrollo de su biblioteca. Sin embargo, Eumenes II respondió impulsando la investigación de soportes alternativos, investigación que finalmente culminó con la invención de un material elaborado a partir de las pieles de animales, y que hoy conocemos como «pergamino» en recuerdo de la ciudad donde se inventó.

Por supuesto, esta historia tiene todos los visos de ser una leyenda poco fundada, y hoy día se acepta unánimemente que ya desde fechas muy anteriores se escribía sobre pieles de animales en lugares muy distintos y con diversas variaciones técnicas; pero la historia de Plinio puede ayudarnos a recordar el momento en que el pergamino comenzó a tener relevancia cultural, porque efectivamente el uso del pergamino se popularizó en oriente próximo y en el conjunto del imperio romano a partir de aquel momento. En oriente convivió durante algunos siglos con el papiro, hasta que finalmente la aparición del papel terminó por desplazar a ambos. En Europa, el pergamino se convirtió en el soporte de la escritura hegemónico. La producción de códices en pergamino fue durante nuestra era, y hasta la aparición del papel, el modo en que la información escrita era transmitida y conservada. Sin embargo, desde la aparición del papel fue progresivamente abandonado en favor de éste: a finales del renacimiento el pergamino ya constituía una rareza.

El pergamino es piel animal que ha sufrido un simple proceso de limpieza y estiramiento. Una vez limpiada y desprovista de pelos, la piel se sumergía en una solución alcalina, que eliminaba la grasa y la suciedad restantes. Después, la piel húmeda era estirada sobre un bastidor, donde se raspaba con una cuchilla con forma curva llamada *lunellarium*. Aquí, la piel se secaba, tensándose y formando la lámina densa y fuerte que llamamos pergamino.

ILUSTRACIÓN 12. El pergamino es un material aparentemente similar al papel, pero de naturaleza radicalmente distinta: se fabrica a partir de pieles animales que se tensan cuidadosamente en un bastidor mientras se secan.

ILUSTRACIÓN 13. Para no romper el pergamino durante el secado es necesario ajustar la tensión de los tirantes y fijar los enganches de modo que no rasguen la pieza.

Había pergaminos de muy diversas calidades. En general, cuanto más grande era el animal del que se extraía la piel, más tosco y grueso era el pergamino resultante; además, los animales jóvenes producían pergaminos más finos, homogéneos y delicados que los animales viejos, porque la piel del animal está sometida a agresiones de todo tipo a lo largo de su vida (exposición a las radiaciones solares, al agua, al barro, al frío, rasguños, cicatrices, etc.); esto producía irregularidades que luego aparecían en el pergamino. Por ello, y curiosamente, uno de los pergaminos más apreciados era el que se llamó «abortivo» o «virgíneo», y que en teoría se extraía de fetos de animales cuya gestación se veía interrumpida por cualquier causa. Sin embargo, en la práctica este nombre se aplicaba a pergaminos de extraordinaria finura y perfección, independientemente de su origen. Algo parecido ocurre con la expresión «vitela», que en principio designaba al pergamino extraído de terneros (la palabra deriva de *vitellus*, ternero en latín), pero después pasó a aplicarse a cualquier tipo de pergamino de alta calidad. En la actualidad, este término debe entenderse en este sentido, aunque a veces se emplea, incorrectamente, como sinónimo de pergamino.

El pergamino tiene dos caras claramente distinguibles, la parte de la dermis (la parte interior de la piel) y la parte de la epidermis (la parte que

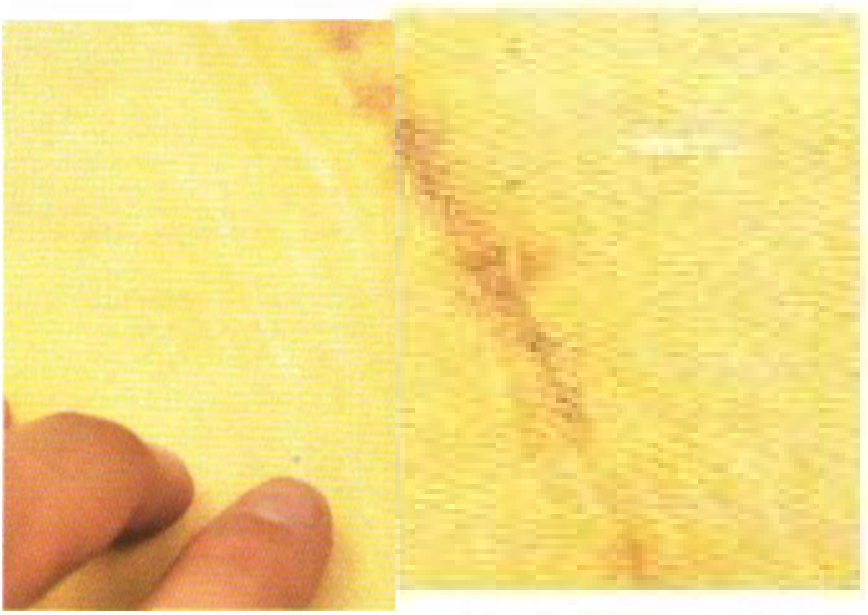


ILUSTRACIÓN 14. A causa de su origen, el pergamino presenta una textura característica que en muchos casos permite distinguirlo del papel con mucha facilidad. Además, puede presentar manchas y cicatrices muy características

estaba en el exterior del animal). La parte de la epidermis es más irregular y oscura que la parte de la dermis. Los artífices de los códices tenían esto muy presente, evitando cuidadosamente que al abrir el libro la página de un lado tuviese un color distinto a la del otro, lo que podía resultar estéticamente desagradable. Para ello, las hojas eran dispuestas de forma alterna, de modo que al coser el códice cada cara del folio quedaba enfrentada a una cara del mismo tipo.

No siempre es sencillo distinguir el origen animal de un pergamino. Es necesario tener en cuenta grosor, resistencia, color y tacto; además, uno de los rasgos más significativos es la disposición y tamaño de los orificios causados por las pilosidades que fueron eliminadas durante el proceso de fabricación. Los orificios, habitualmente imperceptibles a simple vista, pueden ser más o menos pequeños, y estar distribuidos homogéneamente o agrupados en una zona, o por parejas, tríos, etc. La observación de estos factores permite a personas con experiencia la identificación del origen de los pergaminos.

El pergamino es un material noble y muy resistente. La mayor parte de los pergaminos que han llegado hasta nosotros se hallan en buen estado de conservación. Sus procesos de conservación y restauración son similares en algunos aspectos a los del papel, pero no idénticos, por lo que sería un grave error emplear las mismas técnicas para ambos materiales de forma indiscriminada.

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE FABRICACIÓN: DESCRIPCIÓN E HISTORIA

1. CHINA

La historia del papel comenzó hace casi dos mil años. Según la tradición, fue el cortesano chino Ts'ai Lun[1] quien por primera vez descubrió cómo producir esa lámina frágil y delicada que hoy resulta tan cotidiana. Poco importa la veracidad de esta historia, pero probablemente ayude a recordar que el papel fue inventado en China a principios del siglo II. En esa época, buena parte de Europa estaba dominada por un todopoderoso imperio romano, y cuando se tenía que escribir, se escribía sobre papiro, pergamino, tablillas de arcilla u otros soportes similares.

Por el contrario, antes de la invención del papel, en China se escribía sobre tela de seda, un soporte fino y resistente, pero tremendamente caro, o sobre fragmentos de bambú, un soporte grueso, rígido, y en general de incómoda manipulación. Ts'ai Lun (o más probablemente alguno de sus operarios) debía de estar buscando un sustituto de la seda, y quizá aprovechando los retales inútiles que se producían en la confección de ropajes. Para ello intentaría mezclar los hilos de seda entre sí y con agua, troceándolos, deshilachándolos, agitándolos y filtrándolos para que formasen una hoja; de ser así, quizá esperaba que los hilos se entreverasen entre sí lo bastante como para formar una hoja similar al tejido. Ts'ai Lun debió verse bastante contrariado, porque los hilos de seda no se unen entre sí de este modo. En cambio, en algún momento debió hacer la prueba con otros tejidos de origen vegetal: estos sí que formaron una hoja más sólida. Sucesivos experimentos le llevarían a perfeccionar el método de fabricación, hasta llegar a producir hojas de finura y resistencia aceptables para la escritura. Ts'ai Lun informó de esto al emperador en el año 105. Fan Yeh, el historiador de la dinastía Han, ya en el siglo V, hizo esta curiosa semblanza de Ts'ai Lun:

[1] Ts'ai Lun es una transliteración de caracteres chinos. Esta transliteración puede hacerse de diversos modos, ligeramente distintos entre sí, e igualmente correctos («Tsa'i Lun», «T'Sai-Lun», «Sai L'un», etc.).

«Al final del reinado de Yen P'ing [106 d.C.], Ts'ai Lun estaba empleado en la corte y después pasó a formar parte de la guardia imperial. El Emperador Ho Ti, tras su coronación, y conociendo las dotes y cualidades de Ts'ai Lun, lo había tomado como consejero privado y no se ahorró con él ningún elogio o crítica. En el noveno año del reinado de Yung Yüan [97 d. C.], Ts'ai Lun fue nombrado inspector de obras y mediante sus esfuerzos y el uso de materiales de muy alta calidad, los artesanos e ingenieros produjeron armas y espadas que sirvieron como modelos durante muchas generaciones.

»En tiempos antiguos, la escritura y las inscripciones se hacían sobre fragmentos de bambú, o sobre trozos de seda [...]. Pero como la seda era cara, y el bambú pesado, estos dos materiales no resultaban cómodos. Fue Ts'ai Lun quien concibió la idea de fabricar papel a partir de la corteza de árboles, restos de cáñamo, viejos retales y redes de pescar.

»Hizo un informe para el Emperador, en el primer año del reinado de Yen P'ing [105 d. C.], contando sus investigaciones sobre la fabricación del papel, y fue muy apreciado por ello. En el primer año del reinado de Yüan Ch'u [114 d. C.], la Matriarca Imperial le concedió a Ts'ai Lun el honorable título de Marqués por su larga dedicación a la Corte; el título le representó los tributos de trescientas moradas. Después, Ts'ai Lun se convirtió en uno de los jefes palaciegos.

»En el cuarto año de su reinado [117 d. C.], el Emperador, descubriendo que había algunos errores en los libros de historia, ordenó a dos competentes estudiosos que intentasen corregir esos errores, de acuerdo con las normas de la dinastía Han. Fue Ts'ai Lun quien se encargó de este importante trabajo de corrección.

»Ts'ai Lun recibió de la Emperadora To el encargo secreto de difundir rumores contra un miembro de la familia Imperial. Tras la muerte de la Emperadora le sucedió un Emperador con menos animosidades, y ordenó a Ts'ai Lun que se entregase al Ministro de Justicia, para que fuese juzgado. Ts'ai Lun experimentó tales remordimientos y tanta vergüenza que después de acicalarse y vestirse con sus más delicados ropajes, se envenenó»[2].

Ts'ai Lun jugó un papel importante en muchos aspectos de su tiempo, incluyendo la alteración deliberada de la documentación para adaptarla a las necesidades de su tiempo. Sin embargo, hoy día se le recuerda exclusivamente por su participación en la invención del papel.

Para nosotros es difícil imaginar la importancia que la invención del papel pudo llegar a tener. El papel hizo viable la conservación y la difu-

[2] HUNTER, D., *Papermaking. The history and technique of an ancient craft*, Dover, Nueva York, 1978 (reimpresión de la edición de 1947), pp. 50-52. La traducción es nuestra.

sión de la información escrita a una escala que antes resultaba imposible. El bajo coste del nuevo material hizo posible su empleo generalizado, estableciendo el inicio de una amplia cultura documental, y aumentando los registros notariales, culturales e históricos hasta niveles sin precedentes. De hecho, el papel fue considerado un bien de interés estratégico, y su proceso de fabricación se guardó en secreto durante todo el tiempo que fue posible.

No conocemos ningún texto o documento que nos indique los detalles del proceso de fabricación del papel tal y como se practicaba en la época de Ts'ai Lun, pero a juzgar por los restos que han llegado hasta nuestros días, por algunos estudios etnográficos realizados en algunos países orientales a principios del siglo XX, y por el propio texto de Fan Yeh citado arriba, se pueden establecer algunos detalles interesantes de ese proceso. La pasta, por ejemplo, se obtenía a partir de retales de tela de origen vegetal, («restos de cáñamo, viejos retales y redes de pescar»), pero también se descubrió la posibilidad de elaborarlo directamente a partir de vegetales («corteza de árboles»). Probablemente, el vegetal más empleado para este fin fuese el arbusto que hoy justamente se conoce como moral papirífero (*Broussonetia papyrifera*), un arbusto que produce fibras especialmente adecuadas para la producción del papel o el bambú.

La forma con la que se fabricaban las hojas debía de consistir en un simple tamiz de tela cosido por sus extremos a un bastidor de madera. Esto suponía que cada hoja fabricada debía secarse sobre el mismo tamiz antes de poder ser separada, porque el tamiz de tela no permite separar la hoja con facilidad hasta que no está seca casi por completo. Asumiendo que cada hoja se secase en un día, un taller papelero que quisiese producir quinientas hojas por día necesitaría disponer de nada menos que quinientas formas.

Para optimizar el resultado del trabajo se tendió a aumentar el tamaño de las formas. Este tipo de formas de gran tamaño todavía se empleaba en algunas zonas de Asia a principios del siglo XX; en estas zonas, las formas eran de tela y bastidor, y de gran tamaño (1,25 × 0,75 metros aproximadamente), y se trabajaba al aire libre. La pasta se vertía mediante cubos sobre las formas, que después eran dejadas a secar bajo el sol. Hoy se cree que estas técnicas son sustancialmente similares a las que se empleaban en los siglos posteriores a la invención de Ts'ai Lun.

2. JAPÓN

Durante 500 años, el secreto de la fabricación del papel no salió de la China imperial. Pero a comienzos del siglo VII, finalmente traspasó las

fronteras chinas, para llegar a Japón. Los contactos entre ambos países eran muy intensos; China, mucho más avanzada en casi todos los aspectos, sirvió como referente para Japón en muchos aspectos técnicos y culturales. Japón tomó de China su filosofía, su religión, sus artes, su medicina, sus ciencias, e incluso su sistema de escritura, así que no debe resultar sorprendente que también aprendiese de este país la forma de fabricar este nuevo producto. Según algunos registros, los primeros papeles fabricados en Japón datan del año 610. La introducción del papel en Japón se atribuye al monje budista Dokyo[3], aunque como en tantos otros casos esta atribución tiene más un carácter simbólico o legendario que histórico.

En Japón, el arte de fabricar el papel alcanzó un refinamiento sorprendente. Probablemente fue aquí donde se inventó la manera de producir más de una hoja al día por forma; ello fue posible gracias desarrollo de la forma de tamiz enrollable. Esta forma tiene un tamiz compuesto por una especie de esterilla vegetal (llamada *su* en japonés) que era depositada sobre un bastidor rectangular, pero que no estaba unida a él. Encima de esta forma se colocaba otro bastidor de igual tamaño que el primero, y que servía para retener el agua con las fibras durante el proceso de formación. De este modo, la forma se sumergía en una tina con agua y fibras, se sacaba, y el agua retenida por el bastidor superior no se derramaba hacia fuera, sino que atravesaba el tamiz, sobre el que se formaba una capa de fibras. El artesano debía mover la forma de manera tal que la pasta quedara bien repartida, y que la hoja resultante fuese homogénea y del grosor adecuado, algo que requiere una destreza notable. Una vez formada la hoja de esta manera, se separaba el tamiz del bastidor, y se volcaba boca abajo sobre una superficie lisa o sobre las hojas anteriormente formada, formando una pila. Esta operación debía hacerse con un gesto rápido, de modo que la hoja no tuviera ocasión de despegarse y romperse. Entonces se retiraba el tamiz, curvándolo hacia arriba con cuidado.

Esta idea, que como tantas ideas geniales resulta sencilla una vez se conoce, permitió la producción de papeles en pequeños talleres, porque las hojas formadas eran simplemente puestas unas sobre otras para su secado, y no se requerían grandes espacios para el secado de las formas de tela y bastidor. Ligados al desarrollo de estos tipos de taller, el arte de fabricar el papel alcanzó niveles de perfección extraordinarios. Se llegó a producir un papel de una finura y homogeneidad extraordinarias, que aún hoy se puede admirar en muchos de los papeles artesanales que se emplean en restauración, y que son producidos siguiendo métodos sustancialmente idénticos a los antiguos.

[3] «Doncho», según otros autores.

ILUSTRACIÓN 1. En Japón, la fabricación del papel alcanzó niveles muy altos de sofisticación con respecto a China. Estos grabados resumen el proceso de fabricación, que comienza con la recolección de la materia prima –en este caso, probablemente kozo.

ILUSTRACIÓN 2. El kozo se hierve para reblandecerlo y eliminar compuestos no deseables.

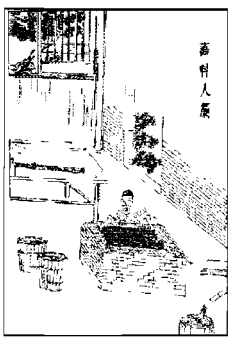


ILUSTRACIÓN 3. La pasta así obtenida se vierte en la tina, en la que se introduce la forma para producir la hoja.

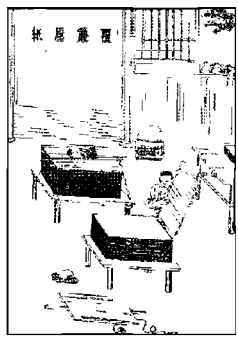


ILUSTRACIÓN 4. Después, la hoja se deposita sobre la hoja anterior, formando un montón de hojas húmedas que después se prensan para acelerar su escurrido –en este caso, la prensa aparece detrás de las hojas, y la presión se ejerce mediante unos tensores y una voluminosa piedra.

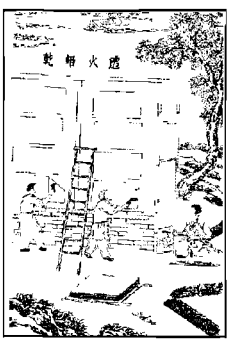


ILUSTRACIÓN 5 Finalmente, las hojas se encolan una a una sobre una superficie plana para su secado.

En China, las pastas se obtenían tanto a partir de telas o cuerdas como a partir de vegetales. En Japón, por el contrario, se empleaban primordialmente fibras de origen puramente vegetal. Estas pastas procedían del kozo u otros arbustos autóctonos especialmente adecuados para la producción del papel.

Cuando se empleaban telas para obtener pasta de papel, las fibras vegetales ya habían sufrido un proceso de preparación previo durante el hilado, que implicaba la separación parcial de las fibras y la eliminación de buena parte de los elementos no celulósicos. Pero cuando las pastas pro-

cedían directamente de plantas vivas era necesario no sólo separar las fibras, sino también eliminar los distintos compuestos que, además de la celulosa, permiten que el vegetal esté vivo, y en particular el citoplasma y núcleo de las células. Para ello, uno de los sistemas más sencillos es la maceración de los vegetales, es decir, la inmersión en agua hasta lograr su putrefacción. Como la celulosa resulta muy difícil de asimilar por parte de los microorganismos responsables de la putrefacción, éstos eliminan antes los demás componentes de las fibras, haciéndolas aptas para la fabricación del papel. Además, e independientemente del origen de la pasta, las fibras eran sometidas a una acción mecánica de batido y machacado, que podía ser hecha a mano o mediante máquinas más o menos rudimentarias (ilustraciones 1 a 5).

3. EL ISLAM

Finalmente, en el siglo VIII el secreto de la fabricación del papel llegó hasta el Islam. Ocurrió en la frontera oeste del imperio chino, aproximadamente un siglo después de que el papel llegase al Japón, y de nuevo hay al respecto una tradición con tintes de leyenda. En este caso, se relaciona con una batalla en torno a la ciudad de Samarkanda, en el transcurso de la cual unos soldados chinos habrían sido hechos prisioneros. Éstos, para salvar sus vidas, consintieron en transmitir el secreto de la fabricación del papel. Poco después, el papel se convirtió en la materia de escritura más empleada en el poderoso imperio islámico. El papel llegó a Europa a través de España y del sur de Italia, que por entonces formaban parte de este imperio.

4. EUROPA

El papel se extendió por Europa de sur a norte. Los primeros talleres de fabricación del papel se establecieron en España e Italia, y desde aquí esta tecnología se difundió hacia los países del centro y norte de Europa. Normalmente, estos talleres se instalaban junto a ríos o corrientes de agua, porque de esta forma se podía aprovechar tanto el agua dulce, necesaria para la fabricación del papel, como la propia corriente, útil para mover las mazas de batido de la pasta; por esta razón, los talleres de papel occidentales suelen recibir el nombre de «molinos papeleros». El papel europeo más antiguo de cuantos se conservan es un documento español que data de la primera mitad del siglo XI. El primer molino papelero de Europa del que se tiene noticia estaba establecido en Játiva, cerca de Valencia,

aunque es casi seguro que anteriormente se habrían establecido otros molinos en otras zonas de la España musulmana. La primera evidencia escrita de la existencia de este molino data del año 1151.

Primero el papel como mercancía, y después también el secreto de su fabricación, se extendieron por Europa en los siglos siguientes. En la segunda mitad del siglo XIII se tiene constancia del primer molino papelero conocido fuera de España, que estaba situado en Fabriano, en el norte de Italia. En 1338 se tiene noticia del primer molino papelero en territorio francés, y a finales del siglo XIV, del primer molino alemán. La fabricación del papel continuó extendiéndose por el resto de Europa: en el siglo XV se tiene constancia de la existencia de molinos en Suiza (1411), Austria (1469) y Bohemia (1499), y en el siglo XVI en Hungría (1546), Holanda (1586) e Inglaterra (1588).

El papel que se producía en Europa presenta unas diferencias relevantes respecto al oriental. No podía ser de otra manera, porque las fibras vegetales que se habían demostrado útiles en oriente no estaban disponibles en Europa. Aquí, la totalidad del papel que se producía era elaborado a partir de trapos, y generalmente a partir de trapos de desecho, como ropa vieja o retales de sastrería. De hecho, en sus primeros momentos, cuando aún no existía una palabra castellana para describir este nuevo material, el papel era llamado «pergamino de trapos». El pergamino de trapos no despertó mucha confianza en un principio, porque el pergamino auténtico, que entonces se empleaba en Europa como soporte de la escritura, era mucho más sólido y resistente. Sin embargo, en pocos siglos, el papel terminó por imponerse, porque que cumplía las mismas funciones de forma razonablemente efectiva pero con un coste mucho más bajo.

Sin embargo, el nombre que finalmente recibió el papel en muchos idiomas europeos no proviene del material al que sustituyó, sino del papiro (*papyros*), otro producto que se empleaba como soporte de escritura en oriente próximo, y cuyo nombre pasó al árabe, y de ahí a las distintas lenguas europeas. Así, en castellano hablamos de papel, en inglés de *paper*, y en alemán y francés de *papier*. En italiano, sin embargo, se mantuvo la expresión latina *carta*, que se empleaba para designar al pergamino; cuando se introdujo el papel, los italianos lo llamaron *carta bambagina* (esto es «carta de algodón», en referencia a una de las materias primas más empleadas en su fabricación). Después, cuando el uso del papel se fue generalizando en detrimento del pergamino la expresión *carta*, sin más, pasó a designar al papel, mientras que al pergamino se le pasó a llamar *carta pergamena*. Curiosamente, en castellano sí se emplea la expresión «cartón», que deriva del italiano *cartone* (literalmente «papelón» o «papel grande») para designar papeles de gran gramaje.

5. LA FORMA METÁLICA

Una de las grandes aportaciones de occidente a la fabricación del papel fue la introducción de la forma metálica. La forma metálica es una forma fija en la que el tamiz está formado por «puntizones» y «corondeles». Los puntizones son unos alambres finos de bronce o latón (es decir, de metales relativamente resistentes al agua), que se disponen paralelamente y muy próximos los unos a los otros para actuar de filtro y retener las fibras vegetales durante la formación del papel. Los puntizones se apoyan perpendicularmente sobre los corondeles, otros alambres más gruesos y espaciados entre sí, y que a su vez suelen estar apoyados sobre travesaños de madera que unen los lados más largos del bastidor de madera, confiriéndole la necesaria rigidez. Los puntizones y corondeles forman un dibujo característico, que recuerda a una verja: la huella que dejan sobre la hoja de papel se denomina, consecuentemente, «verjura». Además de la forma, los artesanos empleaban algo parecido a un bastidor que se dejaba caer sobre la forma propiamente dicha para retener el agua durante la formación, obligando a que ésta pasara a través de los puntizones y corondeles, que filtraban las fibras (ilustración 6).

La forma metálica tiene una ventaja muy importante sobre las que hemos visto hasta ahora: no se adhiere a las fibras de la hoja de papel recién formada con tanta fuerza como ocurría en las formas orientales de tamiz vegetal; esto ocurre porque entre las fibras del papel (compuestas de celulosa) y los puntizones y corondeles (de carácter metálico) no se establecen lo que se conoce como «puentes de hidrógeno», y que son fuerzas de atracción molecular relativamente fuertes. Por el contrario, en el caso de las formas orientales de tela sí se establecían estos puentes, porque el ta-

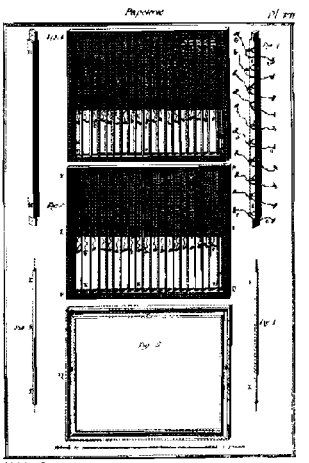


ILUSTRACIÓN 6. La fabricación del papel en Europa supuso la introducción de la forma metálica, un bastidor de madera con un tamiz de alambres paralelos y juntos cruzados perpendicularmente por otros más espaciados, como se observa en esta figura. Para facilitar la retención de la pulpa, la forma europea, como la japonesa, se complementaba con un bastidor removible que se encajaba sobre la forma propiamente dicha. Esta imagen está tomada de *Art de faire le papier*, un libro escrito en el siglo XVIII por Joseph de Lalande, y que constituye una importante fuente histórica.

miz era, al igual que las fibras del papel, un material celulósico. Por ello, los antiguos artesanos chinos tenían que esperar hasta que la hoja se secase para retirarla de la forma. La forma enrollable japonesa representó una solución a este problema; la forma metálica europea también solucionó este problema, pero de un modo distinto. La formación del papel en Europa se hacía sumergiendo la forma en una tina con agua y fibras en suspensión. Cuando se extraía la forma, el agua era retenida por el bastidor superior, y mientras se filtraba el artesano movía la forma para garantizar la formación de una hoja de grosor homogéneo. Cuando la hoja estaba lista, la forma se volteaba con un gesto rápido sobre un fieltro, que recogía buena parte del agua de escurrido. Sobre la hoja se colocaba otro fieltro, sobre el que se volteaba la siguiente hoja, hasta formar una pila que a veces era prensada para favorecer el escurrido y compactado del papel (ilustración 7).

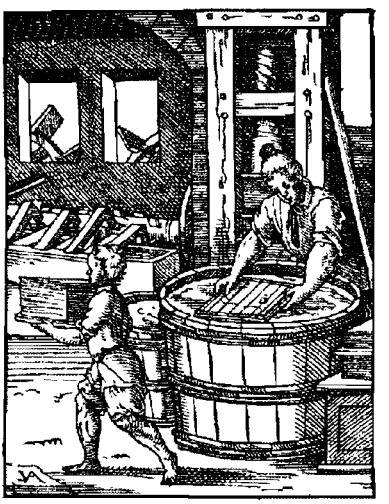


ILUSTRACIÓN 7. El «laurente» o «formador» era la persona encargada de manejar la forma, introduciéndola en la tina y sacando la cantidad adecuada de pulpa, y asegurándose de que ésta quedase correctamente distribuida por toda su superficie. Esta representación fue publicada en el *Ständebuch* de Jost Ammans, impreso en 1568. En la xilografía se pueden identificar muchos de los rasgos de la fabricación del papel tal y como se practicó en Europa entre el final del medievo y la edad contemporánea: así, se observa la tina, la forma, las palas y el mecanismo del molino para el molido de la pasta, el tornillo de la prensa para el escurrido de las hojas mojadas.

Una vez secas, las hojas resultaban sin embargo demasiado porosas para la escritura: la capilaridad hacía que la tinta se corriese, produciendo resultados desagradables. Para evitar este problema, se encolaban las hojas de papel: las hojas encoladas presentaban una capacidad de absorción muy reducidas, lo que las hacía mucho más adecuadas para la impresión o la escritura. El encolado se hacía de forma manual, aplicando la cola con una brocha o sumergiendo unas pocas hojas en un recipiente pequeño, y dejando secar las hojas en tendederos. La cola empleada era primordialmente cola de gelatina, en cualquiera de sus múltiples variedades. A veces, para aumentar su estabilidad se le añadía alumbre. Otros materiales

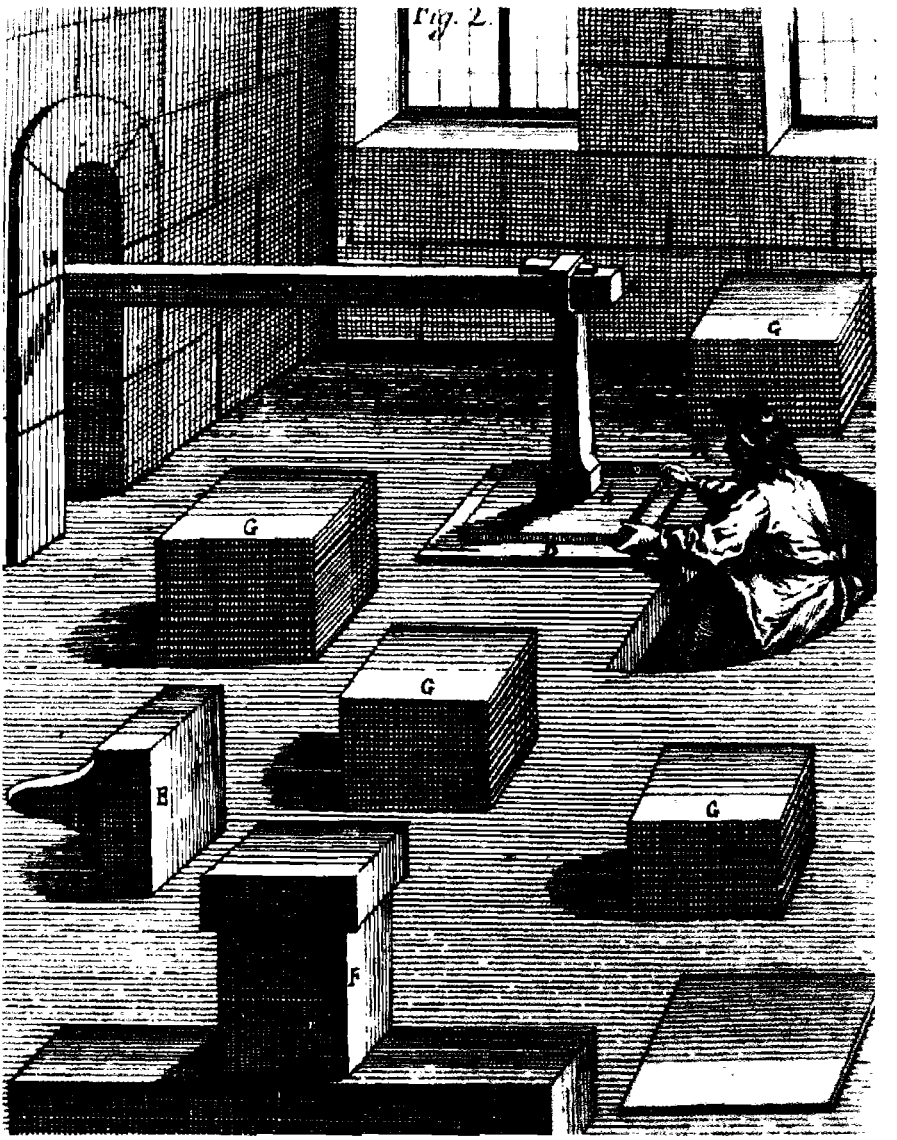


ILUSTRACIÓN 8. En este grabado de *Art de faire le papier* se representa una herramienta de bruñido del papel: el martillo bajo el que el operario coloca el papel está accionado por la fuerza del molino, que lo levanta y deja caer de forma repetida.

adhesivos que podían emplearse eran las colas de almidón, las gomas vegetales o el propio alumbre.

Las hojas, además, podían recibir un tratamiento de bruñido superficial, realizado hoja a hoja frotando sobre ellas un objeto redondeado de superficie lisa, como un canto rodado y pulido, o una piedra de ágata como las empleadas por los doradores, o sometiendo a la hoja a un martilleado repetido. El bruñido del papel producía una superficie más fina y compacta.

Durante los siglos XV, XVI y XVII se expandió y generalizó la fabricación del papel en Europa central y del norte. La expansión del papel se vio impulsada de manera decisiva por otro invento que habría de cambiar para siempre los sistemas de registro y divulgación del pensamiento: la imprenta de tipos móviles. El extraordinario éxito de la impresión de tipos móviles no puede concebirse sin el éxito del papel, y viceversa: la imprenta permitía producir libros de forma infinitamente más rápida que escribiéndolos a mano, pero a su vez necesitaba de superficies de impresión como las que ofrecía el papel, lo que supuso un aumento importante de su demanda.

6. LA VERJURA Y LA FILIGRANA

La forma metálica, al igual que las otras formas, dejaba su huella sobre el papel. Los puntizones y corondeles se pueden percibir en las hojas de estas épocas con claridad, simplemente observándolos al trasluz, como se puede percibir la trama y la urdimbre en las hojas producidas con tamices de tela. Las huellas que la forma deja en el papel son la «marca de agua». La verjura, el característico dibujo de las formas europeas clásicas, es un tipo particular de marca de agua. Sin embargo, y de manera algo imprecisa, la palabra «verjura» a veces se emplea para referirse a la rugosidad de un papel, independientemente de que esa rugosidad haya sido producido por una forma metálica o no; según esta acepción del término (bastante habitual a pesar de ser técnicamente incorrecta), un «papel con verjura» o «un papel verjurado» sería un papel rugoso, fuese cual fuese el origen de esa rugosidad.

Un tipo especial de marca de agua es la llamada «filigrana». La filigrana es un signo reconocible que el fabricante del papel coloca intencionadamente sobre el tamiz metálico para que las hojas producidas por él sean identificables. Las filigranas se comenzaron a usar en los molinos papeleros de Fabriano, en Italia, probablemente en el siglo XIII. Después, su empleo se generalizó rápidamente en toda Europa. La filigrana se elaboraba sencillamente cosiendo sobre el tamiz metálico un alambre formando un di-

bujo reconocible: una mano, una cruz, una silueta, unas iniciales, etc. (el nombre de «filigrana» proviene del hecho de que la elaboración del alambre es similar al trabajo de filigrana de los joyeros) (ilustración 9). Cuando la hoja era formada, la huella del alambre quedaba marcada en el papel, de modo que era posible reconocer al fabricante de cada hoja.

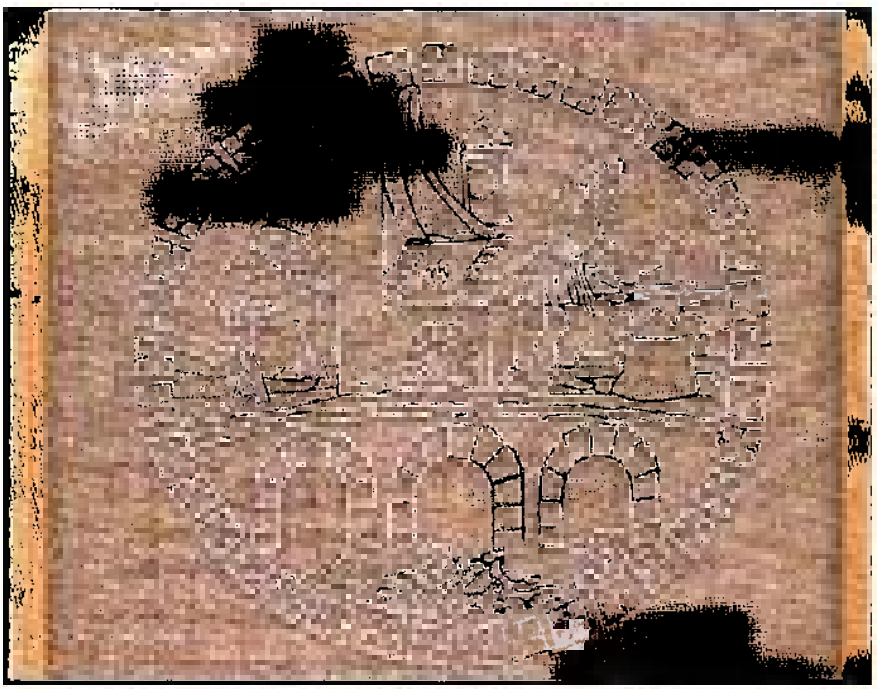


ILUSTRACIÓN 9. Una filigrana sobre la forma. El relieve produce un adelgazamiento en el papel resultante, que lo hace menos opaco en esa zona y permite observar el dibujo cuando se mira al trasluz.

Las filigranas constituyen un elemento de datación histórica. Existen investigadores que identifican y registran gráficamente las filigranas presentes en documentos de datación cierta; después, esos registros son publicados en voluminosos registros que pueden ser consultados por otros investigadores. De este modo, cuando un historiador se encuentra con un texto sobre papel de datación dudosa puede buscar su filigrana en algún repertorio de filigranas. Si la localiza, conocerá de forma aproximada en qué fechas se pudo fabricar el papel que tiene esa filigrana, lo que a su vez proporciona una indicación valiosa sobre la fecha aproximada en la que pudo ser confeccionado el documento.

7. LA PILA HOLANDESA

Como resultado del aumento de la demanda, a finales del siglo XVII se desarrolló en centroeuropa un sistema que mejoraba de forma notable la capacidad de las fibras del papel para unirse entre sí. De este modo, era posible fabricar un papel más fuerte a partir de pastas de poca calidad, lo que suponía una ventaja muy importante en un momento en el que la demanda seguía creciendo de forma sostenida. Este sistema consistía sencillamente en aplastar las fibras húmedas entre unas cuchillas en el fondo de una tina, hasta alcanzar su trituración efectiva, algo que era muy costoso y casi imposible con los medios disponibles anteriormente. La tina era un recipiente de planta ovalada, con una pared divisoria central. En uno de los lados estaba sujeto un tambor rotatorio con pequeñas cuchillas alargadas a modo de palas de molino. El eje del tambor era ajustable en altura, de modo que la distancia entre las cuchillas y el fondo podía hacerse tan pequeña como se desease. Este sencillo pero efectivo mecanismo recibió el nombre de «pila holandesa» (ilustración 10).

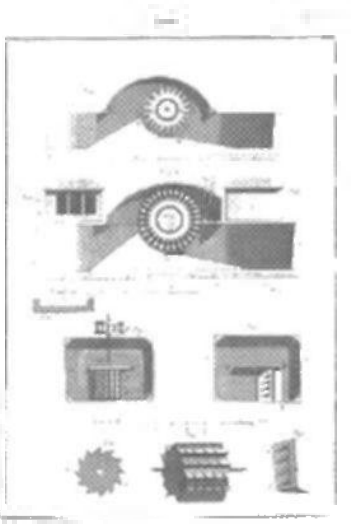


ILUSTRACIÓN 10. Esquema de una pila holandesa según *Art de faire le papier*. El mecanismo básico de la pila holandesa se inventó en el siglo XVII, y se ha mantenido vigente hasta la introducción de los refinadores cónicos y otros sistemas industriales de machacado de las fibras; de hecho, las pilas holandesas siguen empleándose en muchas fábricas para la producción de papeles de especial calidad

La pila holandesa funcionaba llenando el recipiente de pasta de papel, y haciendo girar el tambor: el tambor hacía circular el agua entre las cuchillas y el fondo, y las fibras eran trituradas, produciendo dos efectos: su fragmentación, y su aplastamiento. El triturado de las fibras produce papeles más compactos y homogéneos (aunque menos resistentes a la tracción y al rasgado); el aplastamiento de las fibras les confiere una forma irregular, produce la separación de las fibrillas, y permite que afloren al exterior las capas interiores de las paredes de las fibras, haciendo posible la formación de uniones comparativamente más fuertes.

La pila holandesa supuso un avance importante en la técnica de fabricación del papel, y de hecho se sigue usando con pocas variaciones. El proceso de aplastamiento de las fibras recibe el nombre de «refino», y las pastas que han pasado por la pila holandesa (o por cualquier otro proceso de aplastamiento y triturado) son pastas refinadas.

ILUSTRACIÓN 11. Una pila holandesa. El diseño original del siglo XVII se ha mantenido prácticamente inalterado hasta la actualidad

El refinado tiene una importancia fundamental en el tipo de papel producido. El operario tiene que saber controlar el proceso para elaborar una pulpa adecuada a las necesidades, lo que implica saber equilibrar el grado y tipo de aplastamiento y trituración de las fibras, y su longitud media. Si la pulpa resulta muy triturada se habla de pasta grasa. Este tipo de pasta produce papeles muy densos y suaves, y favorece la formación manual del papel, porque retiene muy bien el agua, dando tiempo al formador para distribuir las fibras uniformemente. Por el contrario, las pastas grasas producen papeles menos resistentes porque las fibras suelen ser más cortas. Por ello, el refinado no puede ser considerado un proceso meramente mecánico y repetitivo. Más bien, requiere un conocimiento basado en la experiencia. Además, cada tipo de fibra tiende a comportarse de una forma diferente a las demás, lo que hace aún más delicada esta operación.

Es difícil ofrecer una idea exacta de la complejidad de este trabajo, y de la cantidad de aspectos que tenían que ser controlados por el operario. Georg Anzelius, que trabajó desde principios del siglo XX en el molino papelero de Tumba Bruk, en Suecia, los resumió así:

«Los distintos tipos de fibra [...] tienen muy distintas tendencias a la desintegración longitudinal. El ramio, el cáñamo y el lino están entre los de más fácil desfibrilación. El yute, la manila, la celulosa de madera y de

algodón son mucho más difíciles, y el esparto y la celulosa de pajas son casi imposibles de separar longitudinalmente.

»La manera en la que el refinado tenía que ser desarrollado dependía de las propiedades requeridas en el papel. Las más importantes eran: fuerza, densidad (gravedad específica, permeabilidad a gases y líquidos), transparencia y finura de la superficie.

[...]

»Los factores que determinan el resultado del refinado eran los siguientes:

»La presión a la que eran sometidas las fibras entre las cuchillas del rodillo y las del fondo de la pila,

»La densidad de la pulpa,

»El movimiento de la pulpa y la velocidad a la que circula por la pila,

»La velocidad de giro del rodillo,

»El grosor y afilado de las cuchillas,

»El tipo de metal de las cuchillas,

»La duración del proceso,

»Etc.

»Las reglas generales del refinado son las siguientes:

»Una presión máxima del rodillo, con cuchillas afiladas y pulpa poco densa (con baja concentración de fibras) producían pulpa poco grasa,

»Un aumento ligero y gradual de la presión de la pulpa producía una pulpa más densa,

»Y unas cuchillas anchas producían una pulpa grasa.

«Con un cierto tipo de refinado, el acortamiento de las fibras dependerá del tiempo de batido, pero por supuesto, las fibras se acortan más rápidamente cuando hay mucha presión del tambor.

»Un operario hábil tenía que ser capaz de controlar la pulpa de forma que alcanzase el carácter graso requerido y el necesario acortamiento de las fibras.»[4]

La pila holandesa se difundió por Europa y América en el siglo XVIII, y después se vio complementada con otros sistemas de refinado, como las refinadoras cónicas. Pero las técnicas de fabricación no experimentaron ninguna alteración sustancial. Sin embargo, en la última década del XVIII tuvo lugar la primera de una serie de innovaciones que revolucionarían la fabricación del papel, y que cambiarían unos procedimientos que, en lo esencial, habían permanecido inalterados en los 1.700 años transcurridos desde la invención del papel.

[4] RUDIN, Bo, *Making Paper. A Look into the History of an Ancient Craft*, Rudins, Vällingby, 1990, pp. 95-96. La traducción es nuestra.

8. LA FORMA MECÁNICA

Cronológicamente, el primero de esos cambios fue la creación de una máquina para formar papel sin intervención humana, y tuvo lugar en la Francia revolucionaria. Su protagonista fue Nicholas-Louis Robert. Robert había nacido en 1761, y después de haber estado en el ejército durante un tiempo terminó trabajando como supervisor en el molino papelero de François Didot, en Essonnes. En su trabajo debía tratar directamente con los artesanos papeleros, a quienes encontraba díscolos y poco disciplinados. Hunter nos informa de que «el propio inventor declaró que fueron las constantes discusiones y desplantes entre los trabajadores del papel lo que le llevó a crear un aparato mecánico que sustituyera el trabajo manual». Robert logró persuadir a su jefe para que financiase su proyecto, y tras varias pruebas fallidas, finalmente logró construir un prototipo que producía papel de una calidad aceptable.

Una vez explicada, la idea de Robert parece obvia, pero sólo una vez explicada, porque en realidad tuvo una intuición genial. La genialidad de Robert fue no intentar reproducir el movimiento que los operarios imprimían a las formas manuales, sino sustituir éstas por una cinta continua que giraba lentamente sobre sí misma. El papel era escurrido mientras la cinta se desplazaba, de manera que cuando llegaba al final de la cinta ya estaba lo suficientemente seco como para ser despegado sin romperse (ilustración 12). Así, esta máquina era capaz de producir «rollos» de papel, y no hojas sueltas. Por ello, la máquina de Robert se conoce también

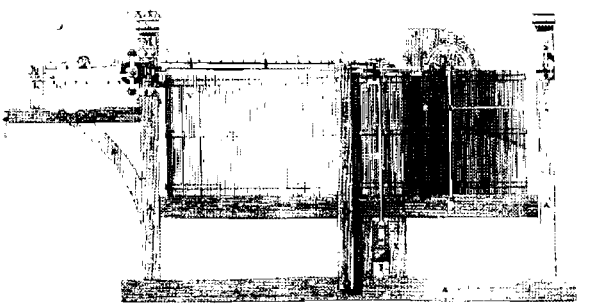


ILUSTRACIÓN 12. Alzado de la máquina original de Louis Robert. La pulpa de papel se vertía sobre la parte superior de la forma, una cinta que se movía lentamente sobre la tina de madera impulsada por rodillos (en esta imagen, de derecha a izquierda). Durante el recorrido, la hoja perdía agua por escurrido y secado, hasta adquirir la solidez lo suficiente para extraerse por el otro extremo. Esta máquina fue patentada por Robert en 1798. Aunque al principio no resultaba rentable, una vez perfeccionada por los hermanos Fourdrinier su idea terminó representando una revolución en la fabricación del papel.

como «forma continua». Técnicamente, el término «papel continuo» designa cualquier tipo de papel elaborado en la máquina de Robert o cualquiera de sus derivados.

Sin embargo, el prototipo de Robert funcionaba a una velocidad extraordinariamente lenta: el secado del papel no era completo, de modo que el rollo de papel húmedo debía desenrrollarse luego para que se secase completamente una vez formado. Por ello, el prototipo de Robert no resultaba comercialmente viable. Didot se arruinó, y terminó enemistándose con Robert. Las ideas de Robert fueron mejoradas por el británico John Gamble, que introdujo ciertas mejoras en la distribución de la pulpa y en el prensado del papel. Los hermanos Henry y Sealy Fourdrinier adquirieron la patente de Gamble y financiaron las investigaciones subsiguientes. En 1807 produjeron una máquina que resultaba económicamente rentable, aunque ellos mismos sufrieron grandes pérdidas económicas durante el desarrollo de la máquina y en su comercialización posterior. Hoy día, las máquinas de papel basadas en la idea original de Robert se conocen como «máquinas fourdrinier» en recuerdo suyo, y el papel producido en ellas se conoce también como «papel fourdrinier».

El proceso fourdrinier tuvo consecuencias muy importantes para la historia del papel, pero también tiene repercusiones técnicas de interés. La más importante tiene que ver con la disposición de las fibras en el papel. En una hoja fabricada a mano, las fibras se distribuyen de manera básicamente aleatoria. Sin embargo, en una hoja de papel continuo, las fibras muestran una marcada tendencia a orientarse en sentido paralelo al movimiento de la forma. Esto ocurre porque la forma «arrastra» las fibras con su movimiento, orientándolas.

La orientación de las fibras es muy importante: debido a este fenómeno, los papeles continuos son más resistentes en un sentido que en otro, y reaccionan ante la humedad de manera distinta a los papeles elaborados manualmente, algo que, como se verá, tiene importantes consecuencias para la conservación y restauración del papel.

Paralelamente al desarrollo de la máquina fourdrinier, también en Inglaterra, John Dickinson inventó una máquina más sencilla basada en el principio ideado por Robert, pero que funcionaba mediante un tambor giratorio rígido parcialmente sumergido en una tina con pasta. Al girar, el tamiz del tambor recogía la pasta, formando una lámina de papel que después se secaba y enrollaba formando un papel continuo. Este tipo de máquina fue patentada en 1809, y se conoce como «forma redonda».

De las dos máquinas de formar papel existentes a principios del siglo XIX, la de los Fourdrinier pronto se demostró superior a la de Dickinson desde un punto de vista productivo, por lo que en la actualidad la forma redonda sólo se mantiene en algunas fábricas de papel como curiosidad, o

para producción de papeles especiales, principalmente para usos artísticos. Por el contrario, la difusión de las máquinas fourdrinier por Europa y el resto del mundo fue muy rápida. Los molinos papeleros tradicionales se vieron totalmente desbordados, y no tardaron en convertirse en una rareza, hasta desaparecer completamente.

En la actualidad, las máquinas que sirven para fabricar el papel de uso común (el papel, por ejemplo, en el que está impreso este libro) siguen basándose en el principio inventado por Robert y desarrollado por los hermanos Fourdrinier. Sin embargo, las máquinas contemporáneas tienen poco que ver con la que diseñó Robert. La máquina de Robert tenía unas dimensiones modestas; el papel se formaba sobre una tina de madera, de unos pocos metros cúbicos, y la forma continua medía cerca de un metro de ancho; en conjunto, la cadena de producción medía unos pocos metros. Las máquinas de la primera mitad del siglo XIX incrementaron su tamaño a los veinte o treinta metros: se añadieron prensas, cilindros secadores, calandras, cilindros de succión, bobinadoras, etc. Cada máquina incluía sus propias modificaciones técnicas, sus propias especificaciones. Esta tendencia se ha mantenido hasta el presente, y en la actualidad las máquinas de producción de papel continuo pueden ocupar enormes naves, y producir bobinas de seis metros de ancho a una velocidad superior a los 1.000 metros por minuto (ilustración 13).

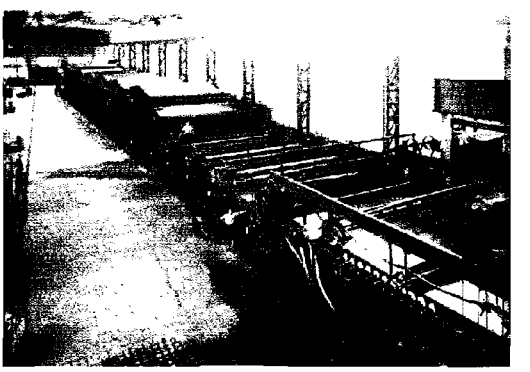


ILUSTRACIÓN 13. A partir de la máquina de Robert, las máquinas del papel han multiplicado de manera vertiginosa su tamaño y su capacidad de producción. Esta imagen muestra una máquina alemana de la década de 1930.

9. EL ENCOLADO EN TINA

A pesar de que la máquina de fabricación del papel supuso un avance extraordinario, a finales del siglo XVIII o principios del XIX, incrementar la velocidad de formación del papel no necesariamente suponía incrementar la producción real de papel. Por muy rápidamente que se formasen las hojas, las que estaban destinadas a la escritura o a la impresión (es decir, la

práctica totalidad de ellas) aún tenían que encolarse laboriosamente a mano, ser puestas a secar en enormes tendederos, y ser recogidas un tiempo después. Así, el desarrollo de máquinas de fabricación eliminaba un cuello de botella (el que suponía la formación manual), pero para incrementar de forma notable la capacidad de producción papelera, todavía era necesario eliminar otro: el encolado manual.

La solución natural a este problema sería añadir la cola a la tina en la que se halla la pulpa; así, el papel contendría su propia cola desde el mismo momento de su formación, sin necesidad de que nadie invirtiese tiempo y esfuerzo en aplicar la cola a hojas ya formadas y secas, colgarlas nuevamente a secar y recogerlas después. Si hasta este momento no se había hecho así era por motivos de eficiencia. Imaginemos una tina que contiene unos dos mil litros de agua. De esos dos mil litros, cada hoja recién formada retiene una vez finalizado el desgote (esto es, el escurrido) unos pocos mililitros. La cola que permanezca en el papel será sólo la que haya disuelta en esos mililitros; todo el agua de desgote que caiga fuera de la tina supone un desperdicio de cola. Pero el desperdicio mayor se produce porque el agua de la tina necesita ser renovada periódicamente: cada vez que se renueva el agua de la tina se perderá toda la cola que contenga, es decir, toda la cola que haya disuelta en sus casi dos mil litros. Esto representaría pérdidas importantes hoy día, pero en los períodos de los que hablamos las pérdidas eran aún mayores, porque las colas de que se disponía debían prepararse artesanalmente, mediante técnicas no siempre sencillas, y a partir de materias primas no demasiado abundantes, por lo que no resultaban tan asequibles como en la actualidad. Por ello, y aun siendo un proceso claramente más laborioso, resultaba más rentable encolar las hojas a mano.

Sin embargo, a principios del siglo XIX, un relojero suizo, Morig Friedrich Illig, descubrió un procedimiento que revolucionó la manera en que se fabricaba el papel, y que permitía realizar el encolado de la pulpa en tina. Este procedimiento emplea como encolante un material en principio inesperado: resina de coníferas. La resina no es soluble en agua, como sabe cualquiera que haya trepado a un pino y haya intentado limpiarse de resina con agua. Sin embargo, la resina se puede saponificar añadiéndole un álcali como la sosa cáustica; se convierte entonces en jabón de resina, y el jabón de resina sí es soluble en agua. Si se añade a la pulpa en la tina, la resina permanece disuelta en agua, de la misma manera que lo haría cualquier otro adhesivo de los empleados hasta el momento (cola animal, almidón, goma arábiga), pero no funciona como adhesivo. Sin embargo, si se añade alumbre, la resina disuelta se precipita, solidificándose en pequeñísimos grumos. Pero, sorprendentemente, en lugar de solidificarse y caer al fondo del recipiente, la resina tiende a adherirse a las fibras vegetales que pueda haber

presentes. De esta forma, se puede añadir sólo la cantidad de resina necesaria para las fibras que haya en la tierra; así la resina no se pierde con el agua, sino que se aprovecha prácticamente en su totalidad.

El sistema de encolado descubierto por Illig fue patentado en 1807, y en la actualidad se conoce como encolado en tina, encolado de colofonia (porque habitualmente se emplea resina de colofonia como materia prima) o encolado interno (porque la cola se distribuye también en el interior del papel y no sólo en su superficie, como ocurre cuando se encola manualmente las hojas ya formadas). Desde su descubrimiento, el procedimiento descubierto por Illig se ha convertido en el sistema habitualmente empleado en la industria del papel. Por este motivo, ha sido exhaustivamente investigado. Hoy se conocen muy bien qué factores influyen en el desarrollo del proceso, y cómo influyen; se sabe qué proporciones emplear, cómo modificarlas para obtener los resultados deseados, qué pH aplicar, cómo distribuir los reactivos y en qúe momento hacerlo, etc.: se sabe, en definitiva, cómo controlar este proceso para obtener los resultados deseados. Pero sin embargo, y curiosamente, las razones por las que el fenómeno se produce no han sido suficientemente explicadas, o mejor, han sido explicadas de muchas formas distintas, sin que ninguna de ellas llegue a convencer del todo a casi nadie.

10. LAS PASTAS DE MADERA

10.1. La pasta mecánica

La invención de la formación mecánica y del descubrimiento del encolado interno representaron un avance extraordinario en la producción del papel. Ahora era técnicamente posible producir grandes cantidades de papel a una velocidad que anteriormente no podía haberse sospechado. Sin embargo, el incremento en la capacidad de formación y encolado no estaba respaldado por un incremento en la producción de las pastas, que seguían elaborándose a partir de trapos y papeles usados. Estos procedimientos, que ya antes resultaban lentos, se convirtieron en claramente insuficientes para abastecer a la nueva industria del papel, que ahora era capaz de producir papeles continuos encolados en tina.

En realidad, la necesidad de encontrar sistemas alternativos para la producción de pastas ya se dejaba sentir desde hacía un tiempo. El suministro de trapos usados resultaba cada vez más costoso e insuficiente para una industria que se enfrentaba a una demanda creciente. Diversos investigadores, como Reamur, habían trabajado sobre la hipótesis de que la madera podría constituir una fuente abundante y asequible de fibras vege-

tales que podría paliar este problema. En resumen, los sistemas empleados consistían en disgregar la madera mecánicamente en fragmentos que permitieran formar papel. Pero estos sistemas no producían una disgregación eficaz: las partículas resultaban demasiado gruesas o demasiado finas, o morfológicamente inadecuadas para la formación de papel de una mínima calidad. Los intentos por desarrollar un proceso verdaderamente aplicable y útil sólo habían llegado a producir, en el mejor de los casos, toscos cartones, de superficie irregular, escasamente resistentes y sin ningún valor práctico.

Este problema se solucionó en la década de 1840, cuando un ingeniero alemán, Köller, logró desarrollar un sistema que disgregaba la madera produciendo partículas aptas para la formación del papel. La máquina de Köller seguía un principio tan sencillo de exponer como difícil de implementar: se trataba de deshacer la madera en trozos cada vez más pequeños hasta producir lo que podría describirse como un aserrín extraordinariamente fino, apto para la fabricación industrial del papel. Las pastas producidas por este sistema (o por cualquiera de sus muchos derivados) se conocen como «pastas mecánicas», porque se obtienen mediante un proceso de desbastado que se basa casi exclusivamente en técnicas de troceado y fragmentación puramente mecánicas.

Las fibras procedentes de las maderas contienen muchas más impurezas que las fibras obtenidas de las plantas anuales. Todos los vegetales contienen una cierta proporción de sustancias no celulósicas, pero cuanto mayor es el tamaño y longevidad de la planta, mayor es su contenido en materiales no celulósicos. Para poder mantener en pie grandes estructuras arbóreas, la madera (lo que comúnmente se entiende por madera, excluyendo otras partes del árbol como la corteza, los brotes o las hojas) contiene una abundante proporción de una sustancia no celulósica muy importante que se conoce como «lignina».

Las sustancias no celulósicas, y en particular la lignina, se consideran generalmente negativas para la conservación del papel, porque con ellas se forman hojas químicamente inestables. Sin embargo, el proceso de producción de pastas mecánicas no discrimina entre componentes de la madera: todos pasan a formar parte del papel. Esto limita el uso de las pastas mecánicas a papeles de baja calidad.

10.2. Las pastas químicas

Sin embargo, de forma paralela a las investigaciones para la producción de pastas mecánicas se estaba trabajando en otra vía completamente distinta para producir pastas de papel a partir de la madera. Esta vía se ba-

saba enteramente en procesos químicos. Los primeros resultados industrialmente aceptables se produjeron aproximadamente en las mismas fechas en las que Köller puso a punto la producción de pastas mecánicas; en las décadas siguientes, las técnicas de producción de pastas químicas se perfeccionaron, difundieron y diversificaron de forma muy rápida. En realidad, estas técnicas evolucionaron, y aún hoy siguen evolucionando, de forma continuada y no siempre bien conocida (se trata de secretos industriales bien guardados). En general, estos procedimientos se basan en someter a la madera previamente troceada a la acción de tres factores:

- Calor.
- Presión.
- pH ácido o alcalino.

En los procesos químicos se emplean diversos compuestos para alcanzar los niveles de pH deseados; estos compuestos caracterizan los distintos procesos. Los más importantes son los procesos basados en la aplicación de sulfitos (para producir un pH ácido), sulfatos o sosa (para producir un pH alcalino). Las pastas obtenidas por estos procedimientos se denominan respectivamente pastas al sulfito, al sulfato o a la sosa (las pastas al sulfato también se conocen como pastas *Kraft* —«fuerza» en alemán— porque producen fibras mecánicamente muy fuertes, aunque con una marcada coloración marrón).

La acción conjunta y prolongada de esos tres factores tiene dos efectos primordiales sobre la madera:

- Disgrega las fibras.
- Elimina las impurezas no celulósicas.

Los procesos químicos se pueden desarrollar porque la celulosa es un compuesto física y químicamente más estable que los otros componentes de la madera. Por ello, mientras esos otros componentes son descompuestos o disueltos por la acción del pH, la presión y el calor, la celulosa permanece relativamente estable, pero sólo relativamente. Una consecuencia no deseada del proceso es la reducción en el grado de polimerización de la celulosa, que disminuye las resistencias mecánicas del papel y su estabilidad química. Esta depolimerización es proporcional a la duración e intensidad del proceso, por lo que el fabricante de pastas debe alcanzar un equilibrio adecuado entre la pureza de la celulosa y la resistencia de las fibras, que puede variar en función del uso al que se destine el papel producido con estas pastas.

10.3. Las pastas semiquímicas

Los procesos químicos y mecánicos pueden combinarse. De hecho, esta combinación se ha demostrado eficaz para muchos usos, y es una práctica común en la actualidad. Así, una pasta mecánica puede además ser purificada mediante procesos químicos. Las pastas de este tipo se conocen como pastas «semiquímicas».

11. LA SITUACIÓN CONTEMPORÁNEA

Aún hoy existen artesanos del papel que fabrican hojas siguiendo las técnicas antiguas. Habitualmente, se trata de hojas muy especiales, de alta calidad o belleza. Sin embargo, estos casos no dejan de ser excepcionales. En la actualidad, la práctica totalidad del papel se elabora a partir de pastas de madera mecánicas, químicas o semiquímicas. En ocasiones, se añaden al papel algunas fibras de plantas anuales, más largas, que incluso cuando son añadidas en pequeñas cantidades incrementan en mucho las resistencias mecánicas de la hoja final. Las cargas son habituales en las hojas de papel, pero no para incrementar su gramaje, sino para homogeneizar y blanquear su superficie. Los papeles se encolan con colofonia, aunque en ocasiones se añaden almidones u otros componentes. Las máquinas fourdrinier están compuestas por decenas o cientos de rodillos, que permiten fabricar papel a una velocidad vertiginosa. En definitiva, la fabricación del papel a nivel masivo requiere una tecnología muy sofisticada y compleja.

De hecho, hoy en día, la industria del papel mueve enormes sumas de dinero. Las plantas productoras de pasta, o las máquinas fourdrinier, exigen inversiones multimillonarias para resultar eficientes. Una planta productora puede tener un impacto socioeconómico muy importante para una localidad, aunque la generalización del uso de pastas de madera y el empleo de ciertos compuestos para el blanqueo del papel, pueden tener también un efecto ecológico muy negativo, tanto para el entorno inmediato como a nivel global. La capacidad de producción actual hace que el papel sea hoy día un material cotidiano, asequible y sacrificable, presente en todos los campos de la actividad diaria, aunque esto tiene costes que no siempre resultan evidentes. La aparición de nuevas tecnologías de registro de la información que no están basadas en papel pueden paliar algunos de estos problemas. Sin embargo, hoy por hoy resulta difícil pensar que el papel pueda dejar de ser uno de los materiales fundamentales de nuestra civilización.

CAPÍTULO 4

LAS FIBRAS DEL PAPEL

1. EL CONCEPTO DE «FIBRA DEL PAPEL»

Las fibras son el principal componente del papel. Las fibras del papel son fibras vegetales, pero a diferencia de las que se puede encontrar en una hoja de árbol, son células vegetales muertas, en las que se han extraído la mayor parte del citoplasma y del núcleo. Y a diferencia de una tabla de madera, han sido previamente disgregadas, separadas unas de otras. Después de la formación del papel las células vegetales vuelven a estar unidas entre sí, pero en esta ocasión, y como veremos, lo hacen con una disposición desordenada, aleatoria. En este caso, la causa de la unión es un tipo de enlace electroquímico (el enlace de puente de hidrógeno), que produce una unión interfibrilar más débil que cuando las fibras se hallan formando parte del vegetal del que provienen, pero suficientemente fuerte como para convertir a la hoja de papel en algo útil para una gran cantidad de usos.

2. MORFOLOGÍA

En general, las fibras vegetales tienen forma de tubo capilar irregular. Sus dimensiones longitudinales pueden oscilar notablemente, desde los varios milímetros de una fibra de algodón a las pocas centésimas de milímetro de algunas fibras de madera. Su diámetro también puede oscilar, pero en general se halla en torno a unas pocas centésimas de milímetro.

Los rasgos morfológicos de cada fibra varían en función de muchas circunstancias, como la planta de la que proceden, la función que cumplían en ella o las circunstancias ambientales en las que se desarrolló. Las personas expertas son capaces de distinguir el origen de una amplia variedad de fibras a partir de su observación microscópica, con la ayuda de algunas tinciones específicas capaces de colorear selectivamente algunas fibras en función de su origen y tratamiento posterior. A pesar de lo que una persona ingenua podría deducir a partir de la lectura de distintos tex-

ILUSTRACIÓN 1. Una típica fibra de algodón observada en un microscopio óptico. Las fibras de algodón presentan una sección oblonga y una torsión muy características.

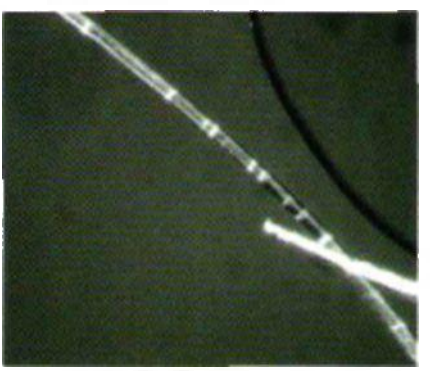


ILUSTRACIÓN 2. Una fibra de lino observada en un microcospio óptico con luz polarizada. Las fibras de lino (que morfológicamente son muy similares a las fibras de cáñamo) presentan una sección aproximadamente circular, y unos engrosamientos a lo largo que le confieren un aspecto vagamente similar al bambú.

tos[1], en la mayor parte de los casos este tipo de identificación exige una amplia experiencia, y no puede ser llevada a cabo por personas sin entrenamiento. Sin embargo, hay ciertos tipos de fibras cuya identificación es sencilla: el reconocimiento de las fibras de algodón, de lino o cáñamo, y de fibras de madera es relativamente cómodo mediante simple observación microscópica.

Las fibras de algodón se caracterizan sobre todo por su sección oblonga y aplastada en la zona central, y por su característico giro helicoidal, que le confiere un aspecto de cinta enroscada (ilustración 1). Además, el tamaño de estas fibras es extraordinariamente grande: sin embargo, el procesado de las fibras suele incluir cierta proporción de batido y refinado que ocasiona su rotura, por lo que este rasgo no siempre está a disposición del observador.

Las fibras de lino y cáñamo son muy similares entre sí, y es difícil distinguirlas. Tienen una sección aproximadamente circular, y unos engrosamientos que aparecen regularmente a lo largo de la fibra que le confieren un aspecto que recuerda vagamente al de una caña de bambú (ilustración 2).

Las fibras de lino, cáñamo y algodón fueron las fibras más em-

[1] Véanse, por ejemplo, BROWNING, B. L. *The Analysis of Paper. 2nd ed. Revised and expanded*. Nueva York, M. Dekker, 1977; GRAFF, J. H., *A color atlas for fiber identification*. Appleton (Wis.), The Institute of Paper Chemistry, 1940; KRAMER KOELLER, G., *Tratado de la preysión del papel y de la conservación de bibliotecas y archivos*. Madrid, Dirección de Archivos y Bibliotecas, 1973, o ASTM D 1030 - 95 (Reapproved 1999), «Standard Test Method for Fiber Analysis of Paper and Paperboard».

ILUSTRACIÓN 3. Fibras de pasta de madera observadas en un microscopio óptico. Las fibras de madera se pueden identificar porque algunas de ellas presentan punteaduras y areolas, como las que se pueden ver en esta ilustración. Las fibras de lino, cáñamo y algodón no poseen esta característica.

pleadas en Europa hasta la aparición de las pastas de madera en la década de 1840. Las fibras de madera pueden ser de muy fácil identificación. El rasgo más destacado es la inclusión de areolas, punteaduras, o punteaduras areoladas (ilustración 3). Éstas son pequeños adelgazamientos u orificios en la pared de la fibra, por los que circulaba la savia y otros compuestos cuando las fibras todavía formaban parte del vegetal. No todas las fibras de madera presentan estas características, ni todas las que las tienen las tienen en toda su longitud —y no todas las punteaduras son observables en una muestra típica. Pero cuando se identifica su presencia en una muestra, se puede tener la certeza de que el papel del que proviene contiene pastas de madera. Además, las fibras vegetales de madera pueden contener lignina—, pero también pueden no contenerla: la lignina es un componente típico de la madera, pero durante la producción de la pasta puede ser eliminado mediante procesos químicos, por lo que su ausencia en fibras del papel no significa que la fibra no sea de madera.

3. COMPOSICIÓN

Las fibras vegetales son células. Cuando se preparan para su empleo en la fabricación del papel, se eliminan los componentes que no son deseables, como resinas, lignina, pectinas, etc. El objetivo es dejar en la fibra únicamente la celulosa, que es el componente esencial de las paredes celulares. Por supuesto, eliminar los componentes no celulósicos tiene un coste económico importante, así que en la práctica los fabricantes no intentan alcanzar el máximo grado de pureza. Por ello, este tipo de componentes sí pueden llegar a encontrarse en las pastas, y de hecho tienen cierta repercusión en la fabricación de un papel, y lo que es más importante para nosotros, también en su conser-

vación. En este sentido, los compuestos más importantes en una fibra del papel son sin duda la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.

4. LA CELULOSA

Celulosa, el principal componente de las fibras del papel, es el nombre de un compuesto químico. En concreto, es un polímero. Un polímero es una molécula formada por la unión de muchas unidades iguales, de la misma manera que una cota de malla o una cadena de hierro están formadas por muchas piezas iguales. En concreto, las moléculas de celulosa se estructuran en forma de cadena, por lo que a este tipo de moléculas también se les denomina, previsiblemente, «cadenas»: podemos decir o leer «moléculas de celulosa» o «cadenas de celulosa» indistintamente. La unidad que se repite en un polímero se llama monómero. Obviamente, una molécula polimérica será más grande cuantos más monómeros contenga. De hecho, los polímeros son moléculas mucho más grandes que las de los compuestos inorgánicos a los que estamos habituados (agua, ácido sulfúrico, óxidos de hierro, etc.), por lo que algunos autores a veces hablan de macromoléculas.

La fórmula empírica de la celulosa, es decir, la que indica la proporción existente entre los átomos que la componen, es $(C_6H_{10}O_5)_n$: esto quiere decir que el monómero de la celulosa está compuesto por seis átomos de carbono, diez átomos de hidrógeno y cinco átomos de oxígeno; los paréntesis y el subíndice nos indican que este monómero se repite *n* veces en cada molécula de celulosa. Ese número *n* es lo que se llama «grado de polimerización», o g.p. En la práctica, el g.p. es una medida del tamaño de la molécula. Su importancia desde el punto de vista de la conservación radica en que, en general, una molécula de celulosa es químicamente más estable cuanto mayor sea su g.p.

Pero ¿por qué en la fórmula aparece una *n* y no un número concreto? Por dos razones: por un lado, porque es técnicamente imposible contar con precisión los monómeros que componen una molécula concreta; y por otro lado, porque el grado de polimerización de la celulosa puede variar muchísimo entre cada molécula, incluso entre las moléculas de celulosa presentes en una misma fibra del papel y adyacentes entre sí. De hecho, cuando se dice que el g.p. de la celulosa en una determinada pasta u hoja de papel es, por poner un ejemplo, 3.000, lo que se quiere decir es que el grado de polimerización medio de las moléculas de celulosa en esa pasta (el promedio matemático de todos los grados de polimerización de todas la moléculas) es 3.000. Sin embargo, probablemente haya moléculas de celulosa con 1.000 monómeros, con 6.000 monómeros, y con 2.588 monómeros, con 4.017 monómeros, con 5.339 monómeros, etc.

La fórmula empírica nos indica la cantidad y proporción de átomos que posee una molécula determinada, pero no nos indica la manera en la que esos átomos se ordenan. Esto puede ser relevante, especialmente en el caso de moléculas grandes, que pueden ordenarse de diversas maneras. Por ejemplo, el almidón tiene la misma fórmula empírica que la celulosa, pero obviamente se trata de un material distinto.

La fórmula desarrollada de un compuesto, por el contrario, nos indica no sólo cuántos átomos hay de cada tipo, sino también cómo se estructuran, como se enlazan entre sí. Por poner un ejemplo cercano, la fórmula desarrollada nos indica no sólo cuántas estaciones hay en una red de metro, sino también cuáles son los enlaces entre ellas, lo que sin duda resulta mucho más útil. La fórmula desarrollada de un monómero de celulosa aparece representada en las ilustraciones 4 y 5.

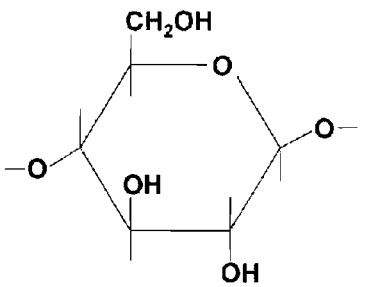


ILUSTRACIÓN 4. Fórmula desarrollada del monómero de celulosa. Habitualmente, los símbolos del carbono (C) y del hidrógeno (H) se suelen dar por sobreentendidos y no se representan expresamente en este tipo de fórmulas. Esto es así porque los átomos de carbono sólo se pueden encontrar en la confluencia de cuatro de las rectas que representan los enlaces, mientras que átomos de hidrógeno, que no pueden crear más que un único enlace, sólo pueden estar en los extremos «vacíos» de las rectas (es decir, en los extremos que no enlazan con ningún otro átomo). Además, los átomos de carbono se identifican mediante una secuencia de números del 1 al 6.

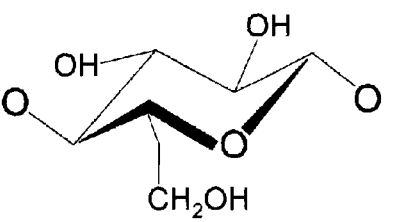


ILUSTRACIÓN 5. No existe una única manera de representar las relaciones de los átomos en las moléculas. Los monómeros de celulosa también suelen representarse de este modo, en el que se intenta ofrecer una idea de la disposición real de cada átomo en el espacio mediante un sistema de perspectiva muy simplificada. El lector podrá reconocer en esta fórmula todos los elementos que aparecen en la ilustración 4, excepto que en este caso, por así decirlo, el anillo hexagonal de la otra figura ha sido «tumbado» hacia adelante.

Una molécula está formada por una larga cadena de monómeros como estos unidos entre sí a través de los átomos de oxígeno que combinan con los átomos de carbono 1 y 4. Esta unión se denomina «enlace beta-1,4-glucosídico». Como dos de los átomos de oxígeno que aparecen entre cada monómero son compartidos con los monómeros adyacentes, en la fórmula empírica ($C_6H_{10}O_5$) sólo se cuenta uno de ellos.

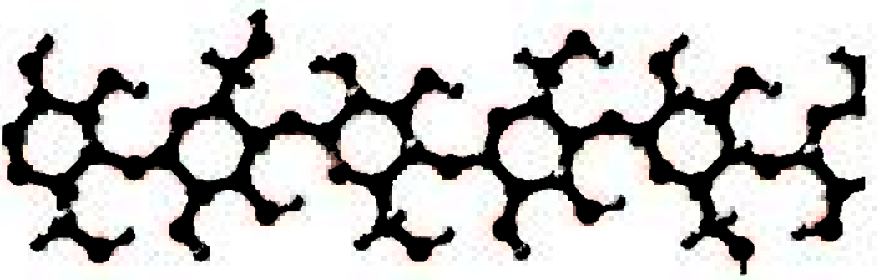


ILUSTRACIÓN 6. La cadena de celulosa representada tridimensionalmente (los átomos de carbono son de color gris oscuro, los átomos de oxígeno aparecen de color rojo, y los átomos de hidrógeno se representan de color blanco). En la imagen sólo aparecen representados seis monómeros, pero una molécula de celulosa típica suele tener entre varios cientos y unos pocos miles de monómeros: a la escala de esta ilustración, una molécula de celulosa media mediría en torno a los veinte metros de larga, mientras que una molécula de celulosa de algodón podría llegar a doscientos metros

Cuando se observa un monómero de celulosa como el del esquema anterior, es fácil olvidar las alargadísimas proporciones de una molécula de celulosa: una molécula de celulosa típica, ampliada hasta medir diez centímetros de ancho, mediría en torno a los 100 metros de largo. Las moléculas de celulosa con los grados de polimerización más altos medirían entre 500 metros y un kilómetro (ilustración 6).

5. HEMICELULOSA

Las moléculas de celulosa se forman en la planta por adición de monómeros. Así, las moléculas de celulosa literalmente se van haciendo mayores conforme se van formando: crecen en tamaño (y concretamente, en longitud). Al principio, sin embargo, las moléculas tienen grados de polimerización muy bajos. Las celulosas con bajo grado de polimerización se denominan «hemicelulosas».

No existe sin embargo un límite preciso a partir del cual podamos hablar de hemicelulosa. El grado de polimerización a partir del cual una molécula de hemicelulosa pasa a ser considerada como una molécula de celulosa se establece arbitrariamente. En general, se suelen establecer límites que oscilan en torno a los 300 ó 400 monómeros.

El concepto de hemicelulosa basado en su grado de polimerización es intelectualmente claro, pero no siempre resulta práctico. La medición del grado de polimerización se realiza evaluando la viscosidad de una solución de celulosa, de forma que sólo se puede establecer el grado de polimerización medio de los millones de moléculas presentes en la muestra. Esto no

permite saber la proporción de celulosas y hemicelulosas realmente presentes. Por ejemplo, un papel con un 50% de fibras con un g.p. de 6.000 y un 50% de fibras con un g.p. de 200 ofrecerá un g.p. medio de 3.100. Este g.p. parece indicar que el papel es suficientemente estable, pero en la práctica la altísima proporción de hemicelulosas hará que el papel se degrade rápidamente. Por el contrario, un papel un papel con un 50 por 100 de fibras con un g.p. de 4.200 y un 50 por 100 de fibras con un g.p. de 2.000, es decir, también con un g.p. medio de 3.100, resultará muchísimo más estable.

Para evitar este problema se ha establecido el concepto de alfa-, beta-, y gammacelulosa. La alfacelulosa es la porción de celulosa presente en la muestra que resulta soluble en una solución de NaOH al 17 por 100. La betacelulosa es la porción que, habiéndose disuelto en la solución de NaOH, precipita al añadir un ácido. La gammacelulosa es la porción de celulosa que se ha disuelto en la solución y que no resulta precipitable por la adición del ácido. Las alfacelulosas tienen un grado de polimerización superior a las betacelulosas, y éstas lo tienen superior al de las gammacelulosas, y de hecho, las beta- y gammacelulosas son grosso modo equiparables a las hemicelulosas. Desde un punto de vista práctico, la medición de los contenidos en alfa-, beta-, y gammacelulosa de un papel resultan más útiles que la medición del g.p. del papel, porque permiten establecer las proporciones de cada tipo de celulosa presentes en una muestra, y no sólo la media aritmética de sus grados de polimerización.

Como se ha indicado arriba, la estabilidad química del papel es proporcional al g.p. de las moléculas de celulosa que lo componen. Así, se considera que las hemicelulosas son muy poco estables, o que las alfacelulosas son más estables que las betacelulosas, y éstas más que las gammacelulosas. Sin embargo, las celulosas de bajo grado de polimerización presentan ciertas ventajas para la fabricación de papel. En particular, son muy fácilmente hidratables, y se enlazan muy fácilmente con otras moléculas de celulosa. Por ello, su presencia en las pastas del papel no es necesariamente considerada negativa por los productores.

6. LIGNINA

La lignina es un material de refuerzo característico de las fibras procedentes de la madera, mientras que su presencia en las plantas anuales como el lino o el algodón es prácticamente nula. Su función esencial es conferir al vegetal (que puede llegar a pesar toneladas) la resistencia física necesaria para mantenerse erguido. Por ello, la lignina puede estar presente en muy diversas proporciones aún en fibras procedentes del mismo vegetal, según la función que esas fibras estuviesen cumpliendo y el lugar de donde proce-

dan: por ejemplo, la proporción de lignina será obviamente mayor en una fibra procedente del tronco (en las que puede llegar a suponer un 40 por 100 del total) que en una procedente de una hoja o de una raíz.

La composición exacta de la lignina es aún hoy objeto de discusión, pero a nosotros nos interesan sus efectos sobre la conservación del papel, que son abrumadoramente negativos: los papeles con fibras lignificadas se vuelven frágiles con facilidad, y se oscurecen rápidamente cuando son expuestos a radiaciones ultravioletas.

6.1. La tinción Weisner

Existen muchas pruebas químicas para la identificación de distintos componentes del papel (cargas, colas, hemicelulosas, etc.). Desgraciadamente, muchas de ellas exigen equipamientos complejos, o requieren mucha experiencia para su adecuada interpretación. Además, en la mayor parte de los casos producen resultados que son irrelevantes desde el punto de vista del restaurador: contribuyen a saciar su curiosidad, pero no aportan datos que le permitan mejorar los tratamientos, o que influyan de algún modo en la toma de decisiones. Existe, sin embargo, una excepción notable a esta regla: la detección de la lignina.

A diferencia de otras pruebas analíticas, detectar la presencia de lignina en un papel puede ser importante y útil para el restaurador, porque ofrece información importante a la hora de seleccionar tanto el método de blanqueo como la forma de exhibición de una obra. Afortunadamente, la lignina es muy fácilmente detectable mediante el reactivo Weisner o de fluoroglucina. Esta prueba es rápida y de muy sencilla interpretación, y no requiere equipamiento especial. Se basa en la aplicación de un reactivo de fluoroglucina ácida. Este reactivo se puede preparar y aplicar de distintos modos, pero una forma sencilla y cómoda para el restaurador consiste simplemente en mezclar:

- 5 ml de alcohol etílico.
- 2,5 ml de ácido clorhídrico.
- 0,1 gr de fluoroglucina.

La tinción queda así preparada para su uso. Para ello se aplica sobre una micromuestra. En presencia de lignina, la muestra adquiere una coloración magenta de muy sencillo reconocimiento. La tinción se deteriora con el tiempo, y adquiere una coloración marrón que dificulta la correcta interpretación de resultados. Por ello, es conveniente conservarla en un frasco opaco, y renovarla cada mes aproximadamente.

Para identificar la presencia de lignina en el papel, basta aplicar una pequeña cantidad de reactivo a una zona del papel a analizar, y esperar un minuto o dos. Si el papel contiene lignina, la zona del papel donde se ha aplicado la tinción se coloreará de magenta (ilustración 7). La reacción se verifica de manera tanto más rápida e intensa cuanto mayor es la presencia de lignina. Por supuesto, esta reacción daña la zona donde se ha aplicado el reactivo, porque en caso positivo el papel queda localmente manchado. Para evitarlo, es posible realizar la prueba con pequeñas muestras de papel previamente extraídas de zonas no visibles de la hoja original, quizá con la ayuda de una lupa o microscopio.

ILUSTRACIÓN 7. La tinción Weisner es muy fácil de usar. Para ello, se pone en contacto con el papel que se quiere analizar y se observa su coloración durante un minuto o dos: en presencia de lignina, el papel teñido adquiere una marcada coloración púrpura. La tinción puede aplicarse directamente en una zona discreta del papel (algo que resulta cómodo pero que mancha el papel analizado) o sobre una micromuestra extraída de la hoja. Para hacer esta fotografía se ha aplicado una pequeña gota en una zona más visible de lo habitual, aplicada con una punta de madera humedecida con la tinción: la madera ha adquirido una coloración rojiza, puesto que también contiene lignina.

7. LA ESTRUCTURA CELULÓSICA EN LAS FIBRAS DEL PAPEL

Las moléculas de celulosa son grandes, y tienen forma de cadena: son muy largas y estrechas. En el interior de las fibras, las moléculas de celulosa tienden a organizarse en conjuntos pseudocristalinos llamados «microfibrillas» (o también «fibrillas elementales» o «micelas»), en los que las moléculas se disponen paralelas unas a las otras, formando puentes de hidrógeno entre los grupos oxhidrilos de cada una de ellas. La unión es directa, sin mediación de moléculas de agua (ilustración 8).

La mayor parte de los haces de fibrillas se disponen en la membrana de forma más o menos paralela al eje de la fibra. La capa exterior de la pared de la fibra es fina y delgada, y contiene un importante porcentaje de materiales no celulósicos. Por el contrario, las capas interiores de la pared de la fibra son ricas en celulosas y hemicelulosas.

Dado que en las microfibrillas las moléculas de celulosa están directamente unidas unas a otras, no hay espacio para que se introduzcan otros

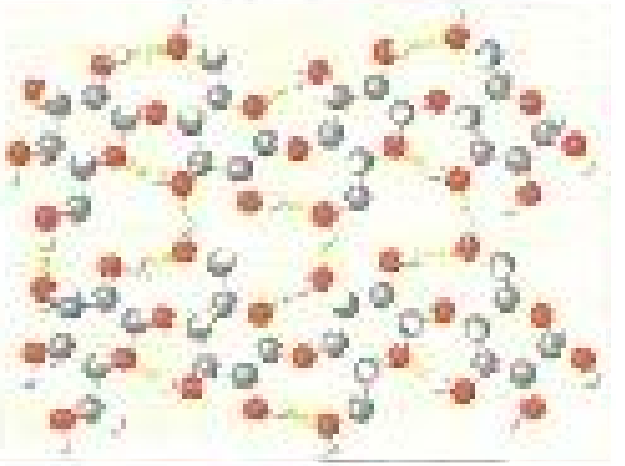


ILUSTRACIÓN 8. Representación tridimensional idealizada de dos cadenas de celulosa en estado pseudocristalino, tal y como se hallan en el interior de las microfibrillas. Las cadenas están orientadas en sentido horizontal. Las esferas oscuras representan átomos de oxígeno, las esferas grises representan átomos de carbono, y las esferas blancas, más pequeñas, representan átomos de hidrógeno. Las líneas discontinuas representan los enlaces de hidrógeno. Se puede observar cómo se producen enlaces de hidrógeno tanto intra- como inter-moleculares. Estos últimos enlaces son los que mantienen íntimamente unidas a las dos cadenas de celulosa, produciendo un efecto de semicristalinidad

compuestos en su interior. Sin embargo, entre dos o más microfibrillas sí se pueden dar aglomeraciones de hemicelulosas y otras sustancias. Las hemicelulosas son moléculas cortas e irregulares, por lo que no pueden organizarse para formar fibrillas; por el contrario, forman conglomerados de carácter esponjoso, con oquedades entre las cadenas.

Como consecuencia del carácter ordenado (o pseudocristalino) de las microfibrillas de celulosa, la mayor parte de sus grupos oxhidrilos quedan en el interior del conjunto, formando puentes de hidrógeno directamente con los grupos oxhidrilos de la molécula de celulosa adyacente. Puesto que las moléculas de las microfibrillas están íntimamente unidas, las moléculas de agua no pueden penetrar en el interior de la fibrilla, y por lo tanto no pueden establecer puentes de hidrógeno con las moléculas del interior de la microfibrilla. Sólo las moléculas del exterior de la microfibrilla tienen grupos oxhidrilos útiles para el establecimiento de nuevos puentes de hidrógeno como los que se producen, por ejemplo, al formar el papel.

Por el contrario, el carácter amorfo y hueco de las aglomeraciones de celulosa no cristalina hace que la práctica totalidad de sus grupos oxhidrilos pueda entrar en contacto con las moléculas de agua aplicadas durante la fabricación del papel. Por este mismo motivo, la presencia de hemicelulosas en las pastas del papel favorece el establecimiento de puentes de hidrógeno

entre las fibras. Las hemicelulosas, por lo tanto, facilitan la formación del papel, por lo que los fabricantes de papel buscan aumentar su presencia en la parte exterior de las fibras, aun a sabiendas de que su estabilidad química es, a largo plazo, muy inferior a la de la celulosa cristalina.

Por otro lado, la capa exterior de la fibra vegetal (lo que se conoce como «membrana primaria») es muy rica en sustancias no celulósicas, como la pectina o la lignina. Estas sustancias no producen puentes de hidrógeno, por lo que su presencia hace que las fibras no se adhieran unas a otras con facilidad. Para evitar esto, las fibras son aplastadas y troceadas en el proceso de refino de la pasta del papel, de modo que la parte interior de la membrana (la «membrana secundaria») aflore al exterior. Se trata, por así decirlo, de eliminar o paliar el efecto de funda aislante que tiene la membrana primaria, aumentando al mismo tiempo la superficie de contacto entre las fibras.

8. EL PUENTE DE HIDRÓGENO

Hemos citado repetidamente el concepto «puente de hidrógeno». El puente de hidrógeno, o «enlace de hidrógeno», es una fuerza cohesiva intermolecular, es decir, es una de las razones por las que un conjunto de moléculas pueden encontrarse unidas entre sí. Se basa en la polaridad de las moléculas de ciertos compuestos. Las moléculas polares son aquellas en las que los centros de sus cargas eléctricas negativas y positivas no coinciden exactamente; por ello, este tipo de moléculas presentan polos magnéticos, de la misma manera que lo hace, por ejemplo, un imán. Las moléculas polares son de hecho comparables a pequeños imanes, y como tales se atraen

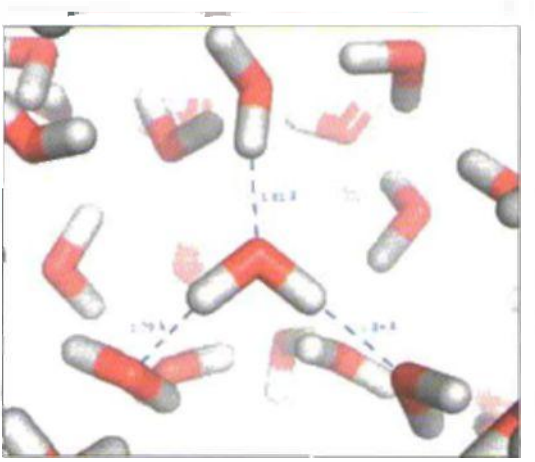


ILUSTRACIÓN 9. Representación idealizada de los puentes de hidrógeno que se producen entre varias moléculas de agua. Cuando se establecen estos enlaces los átomos de hidrógeno y oxígeno quedan a aproximadamente 1,8 angstrongs de distancia (un angstrom, o Å, es la décima parte de una millonésima de milímetro).

entre sí. Determinadas combinaciones de átomos tienden a producir conjuntos polares, y entre ellas destacan algunas de las formadas por átomos de oxígeno e hidrógeno. El agua, por ejemplo, es un líquido fuertemente polar, y sus moléculas se mantienen unidas en buena medida por los puentes de hidrógeno que se producen entre cada molécula (ilustración 9).

La polaridad de un compuesto tiene consecuencias muy importantes en muchos sentidos. Para el restaurador, por ejemplo, es importante porque explica, por ejemplo, por qué algunos disolventes se evaporan antes, forman gotas más pequeñas, y penetran más rápidamente en cuerpos porosos como el papel. Sin embargo, ahora es importante conocer este fenómeno porque explica también por qué las fibras del papel se unen entre sí sin necesidad de ningún adhesivo.

La celulosa, que es el componente fundamental de las fibras del papel, contiene grupos de átomos marcadamente polares a lo largo de la cadena: son los grupos oxhidrilos enlazados a los carbonos 2, 3 y 6. Cuando otra molécula o grupo polar se aproxima lo suficiente a uno de estos grupos oxhidrilos, se establece entre ellos una atracción magnética que los mantendrá unidos hasta que se aplique una fuerza superior en sentido contrario. Por ejemplo, si dos moléculas de celulosa se aproximan entre sí lo suficiente, tenderán a mantenerse unidas, tanto más cuantos más grupos oxhidrilos establezcan entre sí puentes de hidrógeno. Este tipo de unión es común en las zonas más cristalinas de las fibras vegetales, que a su vez son las menos reactivas y las más estables.

Normalmente las moléculas de celulosa no se aproximan espacialmente lo bastante como para establecer este tipo de enlace. Por ejemplo, es prácticamente imposible que la simple acción mecánica consiga aproximar las moléculas de celulosa de una fibra de papel a las moléculas de otra fibra lo bastante como para que se establezcan un número importante de puentes de hidrógeno entre ambas. Por ello, no es posible formar papel simplemente dejando caer fibras de papel sobre una superficie plana y aplastándolas después.

Sin embargo, los grupos polares de la celulosa también pueden formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, y éstas, de mucho menor tamaño, sí pueden llenar los huecos existentes entre las distintas moléculas de celulosa. Cuando las fibras del papel se mezclan con agua, se escurren y se dejan secar, la mayor parte del agua se evapora; pero una parte permanece dentro del papel, porque la fuerza del puente de hidrógeno es suficiente para evitar su evaporación. Estas moléculas de agua son las que, por efecto del enlace de hidrógeno, mantienen unidas las fibras del papel entre sí (ilustración 10).

Este mecanismo es crucial para entender algunos rasgos del comportamiento del papel básicos para el restaurador. Si por ejemplo las condiciones

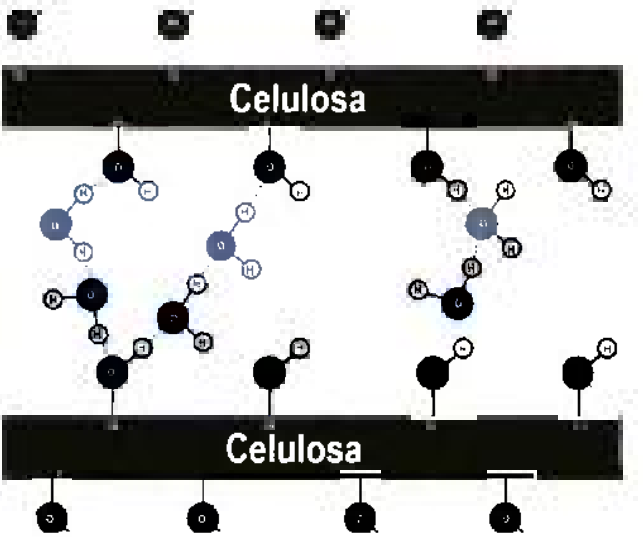


ILUSTRACIÓN 10. Una representación simplificada de dos moléculas de celulosa unidas entre sí gracias a los enlaces de hidrógeno creados entre los grupos oxhidrilos de la celulosa y las moléculas de agua (representadas en color azul). Éste es el mecanismo que permite la unión de las fibras del papel sin necesidad de adhesivos a estos efectos, y tal y como aparece en la ilustración, la molécula de celulosa puede considerarse como un armazón central del que emergen grupos oxhidrilos (es decir, polares) con capacidad para formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua.

de conservación fuesen extraordinariamente secas y llegasen a evaporar demasiadas moléculas de agua, la unión interfibrilar se vería comprometida, debilitando el papel. Si, por el contrario, la humedad fuese excesiva, las moléculas de agua que mantienen unidas las fibras pasarían a ser demasiadas, alejando las fibras entre sí y permitiendo que unas se desplacen respecto a las otras. De hecho, si se sumerge una hoja de papel en agua, ésta terminará por disgregarse, excepto si está muy fuertemente encolada, por supuesto.

Las moléculas de agua son obviamente muy pequeñas, pero no infinitamente pequeñas: ocupan un espacio físico que puede llegar a jugar un papel importante en la conservación de una hoja de papel. Cuando una hoja se humedece, las moléculas de agua se intercalan entre las moléculas de celulosa y hacen aumentar el tamaño del conjunto. Sin embargo, si sólo se moja una parte de la hoja, se producirán otros resultados: por ejemplo, si un papel se humedece más por una cara que por la otra, tenderá a abarquillarse; y si se humedece una mitad de la hoja, pero no la otra, se producirán pliegues en el límite entre ambas zonas.

Las moléculas de agua se disponen a los costados de las alargadas cadenas de celulosa, por lo que las variaciones dimensionales se producen a lo ancho de las moléculas. Como las moléculas de celulosa se disponen

mayoritariamente en sentido paralelo al eje de cada fibra, si se humedece una hoja por igual, pero sus fibras están ordenadas preferentemente en un sentido (como ocurre en el caso de los papeles fourdrinier), la hoja aumentará su tamaño casi exclusivamente en dirección perpendicular a las fibras. Este tipo de papel tiene un comportamiento anisotrópico. Este fenómeno tiene una repercusión muy importante para los restauradores del papel, y, como se verá, explica muchos de los problemas que se pueden encontrar en los procesos de laminación o alisado.

CAPÍTULO 5

LOS ELEMENTOS SUSTENTADOS

Los objetos con los que trabaja el restaurador del papel se componen esencialmente de papel, pero también de tintas, pinturas y otros materiales similares. Estos materiales, que denominamos «sustentados», pueden ser muy distintos, e incluso excepcionales. En este capítulo veremos los más comunes.

1. MATERIALES DE APLICACIÓN EN SECO

Los materiales sustentados pueden clasificarse según su forma de aplicación en dos grandes grupos: aquellos que se aplican en estado húmedo, y aquellos que se aplican en estado seco. A menudo, los materiales secos se depositan sobre la superficie del papel al ser frotados contra ésta. La rugosidad de la hoja desgasta el material gráfico, que se deshace en pequeñas partículas que quedan depositadas sobre la hoja, en buena medida atrapadas en los recovecos e irregularidades microscópicas de la superficie.

Esta forma de fijación al papel hace que este tipo de materiales se comporten de forma particular al ser sometidos a los procedimientos de conservación y restauración. Dependiendo de la naturaleza del material, de la presión con la que fue aplicado y de la textura del papel, pueden resultar más o menos estables o inestables ante cada proceso. A su vez, cada proceso puede realizarse de una manera u otra, o con una u otra intensidad. Los factores que hacen aceptable un tratamiento son muy variados, y la experiencia juega un papel fundamental a la hora de prever los resultados de cada acción, y a la hora de interpretar sus resultados. Sin embargo, conocer algunas características de cada material también constituye una ayuda importante.

1.1. Lápices de grafito

Las minas de los lápices de grafito están formadas por una mezcla de arcilla y grafito pulverizado y compactado. La arcilla se añade porque el

grafito puro es demasiado blando para resultar cómodo de usar; así contribuye a aumentar la dureza del conjunto, y nos permite controlar mejor la cantidad de grafito que se deposita sobre el papel en cada trazo. Los distintos «grados de dureza» de los lápices se consiguen modificando la proporción entre uno y otro material.

El grafito es una forma de carbono natural extremadamente estable. Por lo tanto no se altera ante la acción de agentes químicos, como los oxidantes o reductores de uso en conservación y restauración del papel, ni ante las radiaciones luminosas o ultravioletas. Además, repele el agua, por lo que aguanta sin excesivos problemas la mayor parte de los procesos húmedos de conservación y restauración. Sin embargo, es un material muy sensible a la acción mecánica. Esto permite su eliminación mediante procesos de abrasión suave como los que ocasiona la goma de borrar común, pero también hace necesario un cuidado exquisito en su manipulación.

1.2. Lápices de color

Las minas de los lápices de color son pigmentos aglutinados con materiales que pueden ser bastante variados. A menudo este material es de naturaleza cérea, pero también pueden encontrarse lápices de colores aglutinados con materiales solubles en agua, o incluso *toners* o tintes solubles en agua en lugar, o como complemento, de los pigmentos. Puesto que además los fabricantes pueden emplear pigmentos muy distintos no es posible establecer un comportamiento genérico típico de los trazos de lápices de color. En la práctica, la mayor parte de ellos resisten los tratamientos húmedos, pero no es posible darlo por sentado; y desde luego, la resistencia a las radiaciones luminosas o a los agentes químicos puede variar enormemente según el agente colorante empleado.

1.3. Pasteles

Los pasteles son simplemente pigmentos en estado puro, sin ningún aglutinante, que se adhieren al papel por el carácter rugoso de éste. Los pigmentos suelen ser comercializados en forma de barra o lápiz para mayor comodidad del usuario, y de hecho las tizas, las barras tradicionales de pastel o los lápices pastel son en esencia similares. En estos últimos casos, el fabricante puede emplear una mínima cantidad de aglutinante; pero, a diferencia de otras técnicas artísticas, su función no es la de adherir los pigmentos a la superficie de dibujo o pintura, sino simplemente

mantener los pigmentos unidos para que el artista los pueda manejar con mayor comodidad.

Los pigmentos empleados pueden ser muy distintos, y de su composición dependerá la estabilidad ante los productos (oxidantes, gases, disolventes) que se emplean a menudo en conservación y restauración del papel. Sin embargo, la estabilidad física del pigmento sobre el papel depende exclusivamente de la rugosidad de éste, del tamaño y forma de las partículas, de la cantidad de pigmento aplicada y de la presión ejercida por el artista. En general, su resistencia a la abrasión mecánica es muy baja.

La técnica del pastel es única porque la ausencia de aglutinantes confiere a las obras una textura aterciopelada muy particular, y un color luminoso y vibrante. El conservador debe saber apreciar esta característica, y valorarla como un rasgo a conservar, si ello es posible. La aplicación de fijativos o barnices puede mejorar su resistencia ante rozamientos, pero también puede alterar de forma notable la apariencia del pastel.

1.4. Carboncillos y lápices compuestos

Los carboncillos son madera carbonizada. En consecuencia, su componente principal es el carbono. Desde un punto de vista químico, sus partículas son extremadamente estables y resistentes a todo tipo de agentes. Sin embargo, al igual que los pasteles, su fijación a la superficie del papel se basa simplemente en la rugosidad de la hoja: las partículas desprendidas del carboncillo se incrustan en el papel o se fijan en sus irregularidades, pero nada más las retiene allí. Como además los carboncillos, y en especial los de baja calidad, pueden producir partículas de tamaños muy irregulares, son un material gráfico muy sensible a la abrasión. Como también ocurre en el caso de los pasteles, producen un tono de negro mate y aterciopelado que se puede alterar cuando son barnizados.

El tono aterciopelado es también una característica de los lápices compuestos. Éstos son pigmentos (generalmente negros de carbono o tierras ocres) mezclados en diversas proporciones con arcillas. La naturaleza de los pigmentos los hace muy resistentes a los agentes químicos de deterioro y a las radiaciones luminosas.

2. MATERIALES DE APLICACIÓN POR MEDIO HÚMEDO

Las técnicas gráficas basadas en la aplicación de compuestos húmedos se pueden identificar desde un punto de vista material con lo que conocemos como pinturas o tintes: aunque de hecho sea posible dibujar con

pinturas o tintes, el material empleado seguirá siendo una pintura o un tinte. Por ejemplo, la tinta china es una pintura (una acuarela, concretamente); las tintas calcográficas también (son óleos); y las tintas aerográficas son en su mayor parte tintes o *gouaches* con pigmentos extraordinariamente finos. Por ello, aquí no se intentará establecer la diferencia entre pintura y dibujo, sino que simplemente se describirán algunos de los materiales gráficos de aplicación en húmedo más comunes.

Una pintura es una mezcla de pigmentos y aglutinantes. Durante su vida, hay un corto momento en el que la pintura también contiene un disolvente, que hace que el conjunto se pueda aplicar en estado fluido. Pero después, el disolvente se evapora y la pintura se seca: el disolvente sólo forma parte de las pinturas frescas, pero no de la pintura seca, que es como se presenta al restaurador. La única excepción importante a esta regla la constituyen los óleos, que se hallan en estado fluido aun sin necesidad de disolvente.

Los tintes, por el contrario, son líquidos coloreados. No contienen sustancias sólidas; en los tintes no hay pigmentos, sino moléculas que resultan de la completa disolución del tinte en un líquido. Por ello, aunque el resultado visual pueda ser similar al de las pinturas, los tintes se comportan de forma muy distinta (ilustración 2). En general, los tintes son muy sensibles a tres agentes:

ILUSTRACIÓN 1. Muchas pinturas y tintas se elaboran a partir de tintes y pinturas solubles en agua. En esta imagen se observa cómo se diluyen barras de pinturas en agua, para su uso posterior en la realización de pinturas.

- El pH ácido o alcalino
- Las radiaciones ultravioleta
- La oxidación

Existen diversos tratamientos de conservación y restauración que someten a la hoja a condiciones oxidantes o de alcalinidad elevada. Durante el desarrollo de tratamientos que impliquen este tipo de acciones es necesario tener especial precaución para detectar los síntomas de alteración antes de que el daño resulte perceptible.

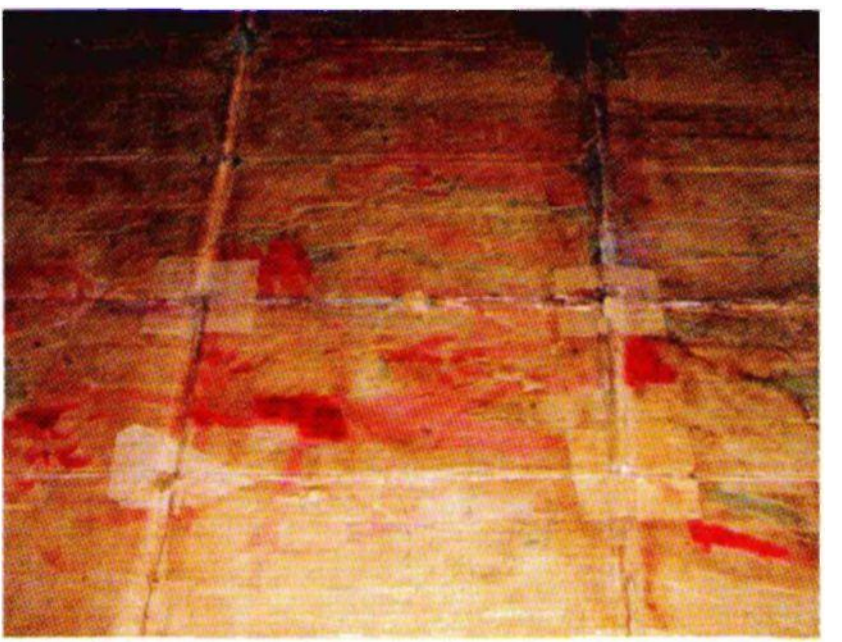


ILUSTRACIÓN 2. Los tintes se emplean para fabricar pinturas para aerografía y tintas para cuñas, estilográficas o rotuladores, pero también se usan como aditivos en otras pinturas de baja calidad: en este boceto para un cartel, los tintes presentes en la pintura roja se han disuelto, atravesando los papeles y apareciendo por el reverso, algo que no ocurre con los pigmentos.

Es posible además encontrar pigmentos teñidos (que técnicamente se conocen como «pigmentos tipo laca»), *toners* (pigmentos de tamaño minúsculo sintetizados a partir de materiales tintóreos) y, desde luego, mezclas de tintes y pigmentos muy diversos en una misma pintura. En realidad, no siempre (mejor dicho, casi nunca) es posible saber a ciencia cierta el tipo de material gráfico presente en la obra a restaurar. En la práctica, tampoco ello es necesario: al restaurador no le es imprescindible conocer la identidad del material, sino su comportamiento cuando es expuesto a

unas condiciones determinadas de conservación, restauración, exhibición o almacenamiento. La complejidad de los materiales empleados convierte en ineficaces muchas de las técnicas comunes de análisis, y ni siquiera es siempre posible extraer una muestra del tamaño requerido, financiar los análisis de dudosa fiabilidad, o esperar unos resultados que, en general, resultan muy poco útiles; a menudo es más práctico, sencillo, y, sobre todo, fiable realizar pequeñas pruebas *in situ*, e interpretarlas sabia y prudentemente. Y desde luego, la prueba más fiable de todas tiene lugar cuando se desarrolla el trabajo. Es necesario insistir en que un restaurador competente debe ser capaz de interpretar signos que para los profanos resultan imperceptibles, y tomar las decisiones adecuadas antes de que se produzcan daños en la obra.

2.1. *Gouaches* y acuarelas

Los *gouaches* son pinturas cuyo aglutinante es la goma arábiga u otra goma vegetal similar. Los *gouaches* producen capas pictóricas gruesas y cubrientes, con un acabado mate característico. Las gomas vegetales que componen su aglutinante se caracterizan por ser fácilmente solubles en agua. Por ello, suele ser muy arriesgado someter *gouaches* a procedimientos acuosos, y se hace necesario actuar con mucha precaución. Por otro lado, la pintura al *gouache* es muy frágil y poco resistente a las agresiones mecánicas, por lo que es fácil producir arañazos e incisiones en su superficie.

Las acuarelas son muy similares a los *gouaches*. Al igual que éstos, están compuestas por pigmentos aglutinados con gomas vegetales y, hasta cierto punto, pueden considerarse como *gouaches* muy diluidos; en ocasiones es de hecho muy complicado distinguir con precisión entre unos y otras: las diferencias, más que en los materiales, radican en la técnica de aplicación. En el caso de las acuarelas es el pintor quien añade agua a unas pastillas secas en el momento mismo de la aplicación. El resultado es que habitualmente se aplican capas pictóricas muy delgadas, con una gran cantidad de disolvente (agua) y muy poco aglutinante. Otra diferencia es el tamaño de los pigmentos, que es muy pequeño en el caso de las acuarelas, al menos en las de cierta calidad. Esto permite aplicar capas extraordinariamente finas sin que se perciban las partículas (y de hecho, las acuarelas de baja calidad suelen adulterarse con tintes solubles en agua). Por ello, las acuarelas son pinturas muy adecuadas para la realización de «aguadas», es decir, de capas de color finas y transparentes.

Los pigmentos de las acuarelas se fijan al papel esencialmente a causa de la rugosidad de la superficie: buena parte de los pigmentos se entreve-

ran en la trama fibrilar de la hoja, y no necesitan realmente del aglutinante para permanecer en la hoja. Este mecanismo tiene consecuencias importantes para el restaurador. Si se somete una acuarela a un baño acuoso, las capas de pintura más gruesas pueden verse alteradas con rapidez, por la disolución del aglutinante presente y la eliminación de los pigmentos por él retenidos. Pero en una acuarela pura, esto es, en una acuarela formada por aguadas, la mayoría de los pigmentos están retenidos sobre todo por la porosidad del papel, y no por el aglutinante. Esto hace posible que algunas acuarelas resistan la inmersión en agua sin alterarse de forma perceptible. Por ello, el baño de acuarelas es una operación arriesgada, pero no imposible en determinadas circunstancias. En todo caso, es necesario tener presente que los factores técnicos que determinan la estabilidad o inestabilidad de estos pigmentos (las características del papel, la finura de los pigmentos, las técnicas empleadas por el artista, las condiciones en que se ha conservado la obra, etc.) son muy variados y complejos, y que sólo la experiencia del restaurador permite su correcta valoración.

2.2. Tintas ferrogálicas

Las tintas ferrogálicas son bien conocidas desde la antigüedad. Se preparan mezclando sulfatos de hierro con el extracto de las agallas de robles y otros árboles (ricas en ácidos gálicos y tánicos, de aquí su nombre). El resultado es un líquido de color ocre más o menos oscuro con capacidad para teñir el papel. La reacción que se produce, sin embargo, tiene un carácter fuertemente ácido (de hecho, también se conocen como «tintas metaloácidas»). Con el tiempo, esta acidez ataca el papel, produciendo su oxidación intensa, esto es, quemándolo literalmente. El tenue halo que rodea las letras en muchos manuscritos, e incluso el agradable color ocre de las tintas, en muchos casos responde en realidad a la oxidación en esas zonas del papel. En los casos extremos, la parte interior de los caracteres cerrados («a», «o», «d», etc.) se llega a desprender, dejando un agujero en su lugar. Este problema está muy extendido, y se agrava con el paso del tiempo (ilustración 3).

Las tintas ferrogálicas son muy comunes en Europa, y se pueden encontrar abundantes recetas con variaciones de todo tipo. La variación más común consiste en añadir a la tinta ferrogálica pigmentos negros o marrones y goma arábiga, produciendo en la práctica un híbrido de tinta ferrogálica y algo parecido a un *gouache* o una acuarela. Cuando estas tintas son sumergidas en agua durante un proceso de restauración, los pigmentos presentes en la tinta pueden disolverse mientras que la parte correspondiente a la tinta ferrogálica propiamente dicha permanece estable.

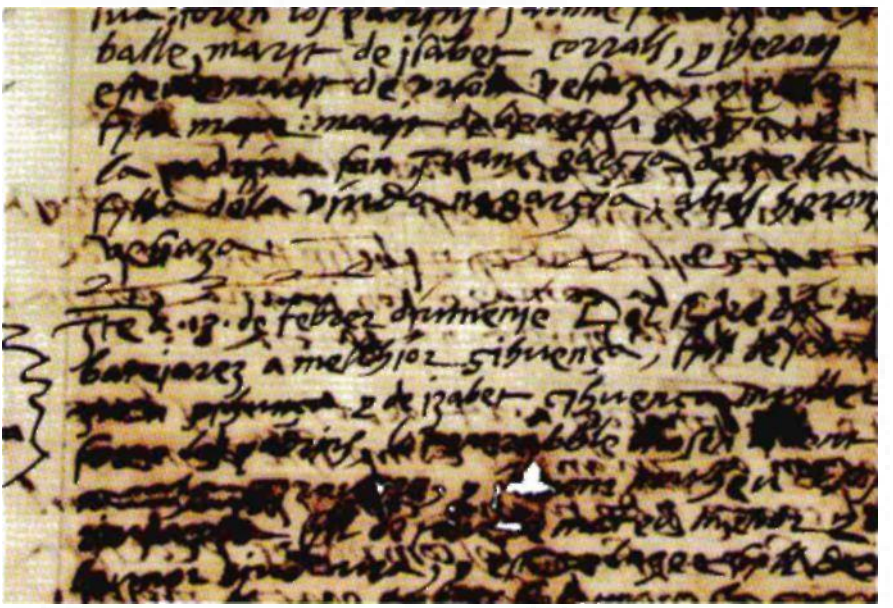


ILUSTRACIÓN 3. Un manuscrito realizado con tinta ferrogálica. La tinta ferrogálica suele tener una coloración marrón oscura, pero su rasgo más característico es que deteriora el papel con el que se pone en contacto. El proceso de deterioro comienza por el oscurecimiento del papel circundante: se forma un cerco ocre y el color aparece también al otro lado del papel. Como se ve en la fotografía, el papel termina perforándose en las zonas donde se ha escrito.

2.3. TINTAS DE PIGMENTO Y AGLUTINANTE

Las tintas a base de pigmento y aglutinante son muy habituales. La conocida «tinta china», por ejemplo, es una tinta elaborada con negro de carbono (es decir, un compuesto fino y altamente estable, que no afecta al papel ni se deteriora por exposición a agentes químicos o a la luz). Técnicamente hablando, se podrían considerar como una variedad del *gouache* o de las acuarelas, porque su aglutinante más común es la goma arábiga. A causa de la solubilidad de su aglutinante, las tintas chinas son sensibles al agua y deben tratarse con suma precaución (ilustración 4).

2.4. TINTAS DE ROTULADOR, CUÑOS, BOLÍGRAFOS O ESTILOGRÁFICAS

Desde finales del siglo XIX se ha venido empleando una amplia gama de materiales en los diversos utensilios de escritura. En general, estos materiales se basan en la aplicación de tintes. Este es el caso de los colores empleados en los rotuladores, bolígrafos y plumas fuente. Puesto que el desarrollo

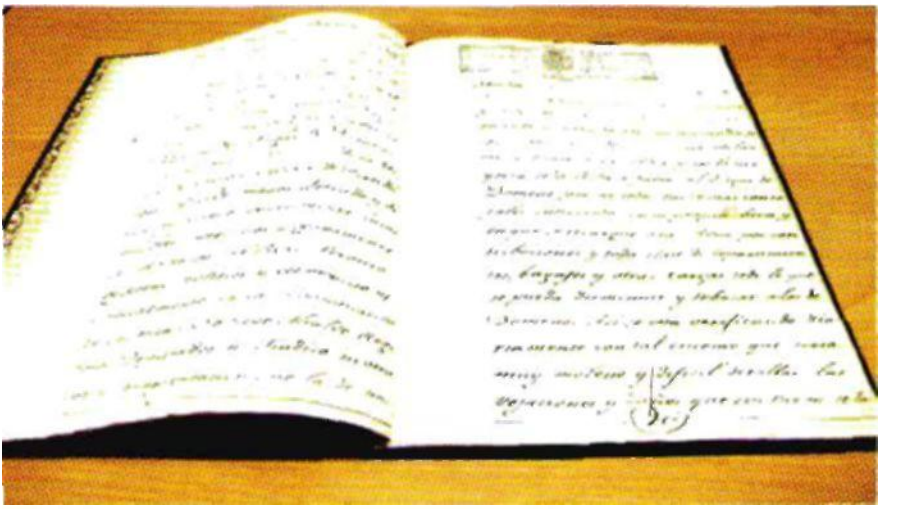


ILUSTRACIÓN 4. Un manuscrito elaborado con tinta de pigmento y aglutinante. Estas tintas suelen ser más estables que las tintas basadas en tintes, pero si se mojan pueden disolverse total o parcialmente.

de este tipo de tintas se ha hecho como respuesta a necesidades e intereses industriales y económicos, su composición y métodos de producción son enormemente variados y permanecen a menudo celosamente ocultos por sus fabricantes, por lo que no es sencillo prever su comportamiento. En esta situación, es el restaurador el que debe saber interpretar sus reacciones durante las pruebas previas al tratamiento y, si se lleva adelante, durante el propio tratamiento.

2.5. TINTAS DE IMPRESIÓN

Las tintas de impresión son uno de los compuestos más frecuentemente encontrados en nuestro cam-

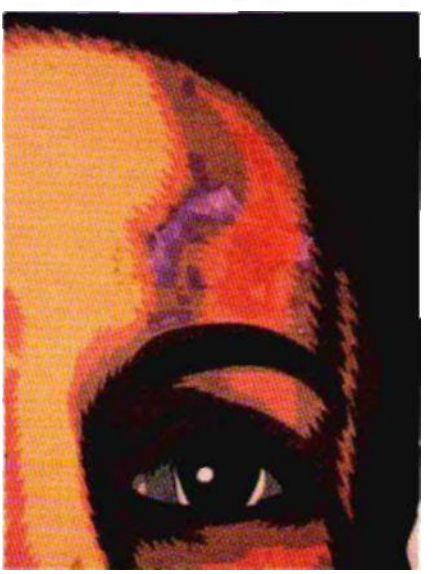


ILUSTRACIÓN 5. Una serigrafía, en este caso correspondiente a un cartel cinematográfico de mediados del siglo XX. En algún momento de su historia, la serigrafía ha sido retocada con *gouache*, un tipo de pintura formada por pigmento y goma arábiga. Sin embargo, desde un punto de vista material, la tinta serigráfica, como casi todas las tintas de impresión, es también una pintura, ya que está formada por pigmentos y aceites secantes.

ILUSTRACIÓN 6. Detalle de una litografía. La litografía es una de las técnicas de impresión *más* extendidas durante el siglo XIX y buena parte del XX. Aunque pueden presentar acabados diferentes según la técnica empleada, muchas de ellas se caracterizan por el grano *irregular* de la tinta tal y como se puede observar en esta imagen.

ILUSTRACIÓN 7. Impresión tipográfica. La iluminación con luz rasante permite observar la huella que los tipos han dejado sobre el papel, que en este caso resulta especialmente evidente.

po. Su naturaleza es similar a las de las pinturas al óleo: pigmento aglutinado con aceite secante. Las diferencias con respecto a los óleos son de tipo cuantitativo, y básicamente se pueden resumir en dos puntos: los pigmentos son más finos, y el aceite más secante. Por lo demás, su comportamiento es sustancialmente idéntico al de los óleos: resisten el agua y, si están completamente secas, también a la mayor parte de los disolventes que se emplean en nuestro campo (ilustraciones 5 a 7).

En la gran mayoria de las técnicas de impresión los colores se forman por la mezcla de otras tintas. Las modernas tri- y cuatricromías producen una amplia gama de colores superponiendo tramas de tres o cuatro colores primarios (cyan, magenta, amarillo, más el negro en el caso de las cuatricromías). Las tramas de cada color están formadas por pequeños puntos

invisibles a simple vista, que varían sutilmente de tamaño según el color final que se desee obtener (ilustración 8). Por otro lado, en algunos tipos de serigrafía y de litografía los colores se forman por superposición de tintas translúcidas (ilustración 9).

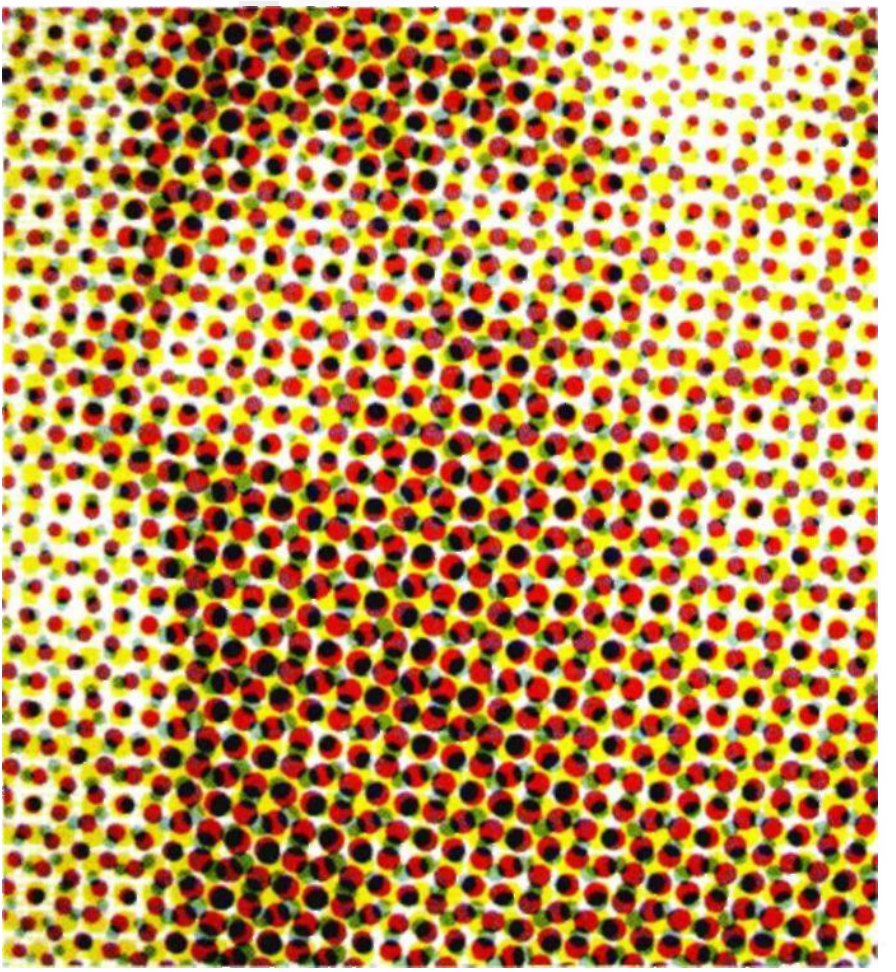


ILUSTRACIÓN 8. Macrofotografía de una impresión a tres tintas, o tricromía. A simple vista, la trama no se percibe, pero si se observa en condiciones normales, la unión y superposición de los pequeños puntos de tinta producen la imagen coloreada: por ejemplo, si esta macrofotografía se observa a cierta distancia se percibe la imagen de un rostro. Así se reproducen la gran mayoría de imágenes en las publicaciones a color actuales (incluidas las de este libro). Cuando nos enfrentemos a la restauración de este tipo de impresiones, es necesario tener presente que están compuestas por tres o cuatro tintas diferentes, correspondientes a los colores primarios más el negro, y que cada una podría reaccionar de manera distinta ante un mismo tratamiento.

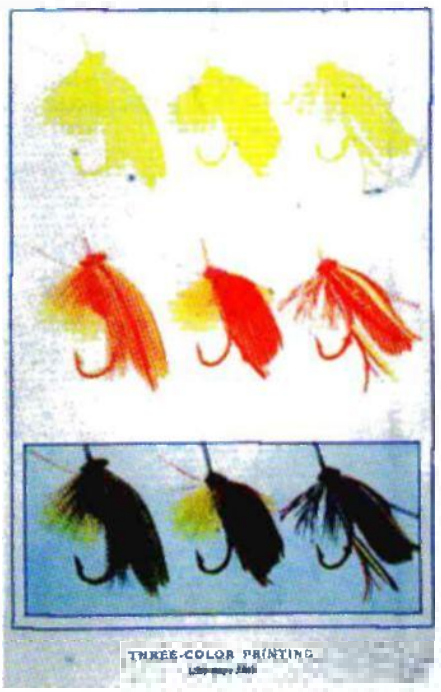


ILUSTRACIÓN 9. En esta imagen se observa cómo se obtienen los colores por superposición de tintas. Cada una de esta tintas puede reaccionar de manera distinta a los diferentes tratamientos de restauración.

Se debe tener presente que es posible encontrar tintas de color realizadas con tintes o *toners*. En la práctica totalidad de los casos, estos materiales resisten sin problemas la exposición al agua. Sin embargo, su comportamiento ante las radiaciones luminosas y ante los compuestos oxidantes puede ser muy inestable: puesto que en la práctica es difícil identificar con precisión la materia colorante, es prácticamente imposible prever el comportamiento de las impresiones coloreadas ante estos agentes.

3. LAS EXCEPCIONES

Es necesario insistir en el carácter meramente indicativo de estas descripciones. Los materiales descritos en este apartado no abarcan todos los que se pueden encontrar en conservación y restauración del papel, sino sólo los más frecuentes: el restaurador puede encontrar en su trabajo tintas de máquina de escribir de cinta o de transferencia térmica, fotocopias de varios tipos, impresiones de fax en papel térmico, impresiones de chorro de tinta, láser o matriciales, copias al carbón, rotuladores fluorescentes, copias Van Dyke, y otras muchas técnicas y materiales. Desgraciadamente, describir todo este abanico de posibilidades requeriría varios libros como este. La selección anterior es representativa, pero no es (no puede ser) completa.

Por otro lado, las consideraciones generales tampoco tienen un valor absoluto. No sería correcto hacer creer que ninguna tinta de impresión se disolverá en agua, ni que todos los *gouaches* se disolverán en agua casi instantáneamente. Pensar, por ejemplo, que todas las formulaciones de todas las compañías de fabricación de tintas de impresión de todos los tiempos, en todos los lugares, responden estrictamente a los principios descritos arriba, sería una ingenuidad. Igualmente, pensar que todos los escribas

de todos los monasterios o en todas las cortes de todo el mundo preparaban la tinta ferrogálica de manera parecida, es demasiado sencillo para ser real. Las adulteraciones, los secretos de taller, los secretos industriales, las mezclas, los trucos, pueden ser muy variados y alterar, a veces de modo sustancial, el comportamiento de los materiales gráficos a los que se enfrenta el restaurador. No se debe olvidar el carácter necesariamente general de este capítulo, y destacar que la última prueba, la prueba definitiva sobre el comportamiento de un material, es la que se hace durante el transcurso del proceso de restauración: es el restaurador en cada caso particular el que debe saber discernir con antelación los síntomas que indican que un material se va a comportar de una manera; y es el restaurador el que debe saber calcular los márgenes de actuación en cada caso particular. En cierto modo, lo que distingue a un restaurador mediocre de un buen restaurador no es su capacidad para resolver los problemas comunes y previsibles, sino, precisamente, su capacidad ante los problemas inesperados: su capacidad para solventar los problemas imprevisibles que no aparecen en ningún manual.

CAPÍTULO 6

LA ALTERACIÓN DEL DOCUMENTO

1. MANCHAS

En este libro se consideran como manchas cualquier alteración no deseada del color original de una zona del objeto causada por la acción de un elemento externo al papel. Obsérvese que las manchas que pueden llegar a afectar a un papel son de una variedad infinita. Una lista de ellas será por lo tanto necesariamente incompleta. Sin embargo, sí es posible destacar algunas de las más comunes:

— Manchas de partículas de polvo o suciedad ambiental.

— Manchas de humedad. Las manchas de humedad se producen cuando una cierta cantidad de agua entra en contacto con un papel. La capilaridad hace que el agua se desplace por su interior, y al hacerlo disuelve y arrastra los productos de degradación de la celulosa. Cuando el agua deja de desplazarse, los productos disueltos quedan concentrados en el frente de arrastre del agua, formando un cerco de color generalmente ocre (ilustración 1).

ILUSTRACIÓN 1. Mancha de humedad un libro. El agua ha ascendido por capilaridad a través del papel, arrastrando sustancias solubles coloreadas, que se han concentrado en una zona del papel, oscureciéndolo.

- Rayas de lápiz, bolígrafo, rotulador; manchas de pintura o tinta.
- Manchas de hongos. Los hongos suponen una degradación mecánica del papel, pero también la presencia de hifas y micelios en su superficie, formando una tenue capa aterciopelada, y a menudo coloreada (ilustración 2). Además, es habitual que los hongos produzcan una tinción del papel en colores muy diversos: amarillo, negro, magenta, verde, azul, etc. (ilustración 3).
- Excrementos de insectos.
- Manchas de aceite o grasa. En su estado natural, los aceites son solubles en muchos disolventes. Algunos aceites de los que podemos encon-

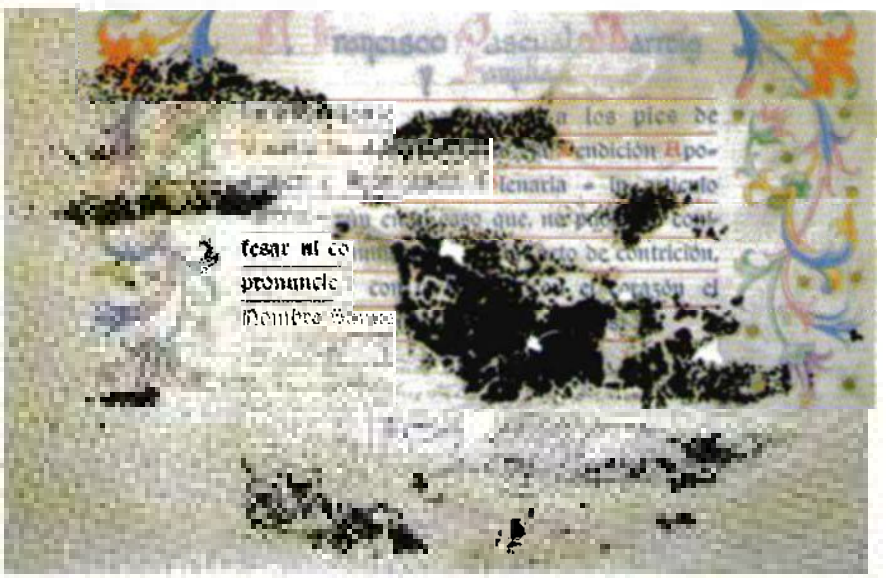


ILUSTRACIÓN 2. Las hifas y micelios de los hongos activos suelen producir una agregación aterciopelada en la superficie del papel, como se observa en esta imagen, tomada poco después de una inundación. El agua también ha afectado a algunas tintas decolorándolas.

ILUSTRACIÓN 3. Manchas causadas por hongos ahora inactivos. Durante su crecimiento, los hongos producen sustancias que tiñen el papel. Estos colores permanecen después de que los hongos han sido eliminados. El color de la mancha puede variar ampliamente (rojo, negro, amarillo, verde, etc.) y es propio de cada especie.

tramos en conservación y restauración del papel se oxidan y polimerizan (nosotros decimos que «secan») en pocas horas, pocos días o pocas semanas. Otros, como el aceite de oliva o de girasol, pueden tardar años en «secar». Cuando esto ocurre, la sustancia resultante se convierte en una sustancia insoluble. Por lo tanto, aunque se hable de «manchas de aceite» para referirnos tanto a aceites oxidados y polimerizados como a aceites en estado natural, y aunque su apariencia sea muy similar, su comportamiento puede ser muy distinto.

- Manchas de cinta adhesiva. Las cintas adhesivas necesitan mantener mordiente el adhesivo durante un largo tiempo a partir de su fabricación, porque en caso contrario quedarían inservibles antes de poder ser usadas. Para lograrlo, emplean disolventes grasos muy poco volátiles. Cuando se aplica al papel, el disolvente graso migra lentamente al interior del papel, donde, al cabo del tiempo, termina por oxidarse y convertirse en una sustancia insoluble de color ocre oscuro (ilustración 4).
- Restos de adhesivos.
- Manchas producidas por tintes: manchas de café, vino, etc. Estas sustancias funcionan como tintes naturales.

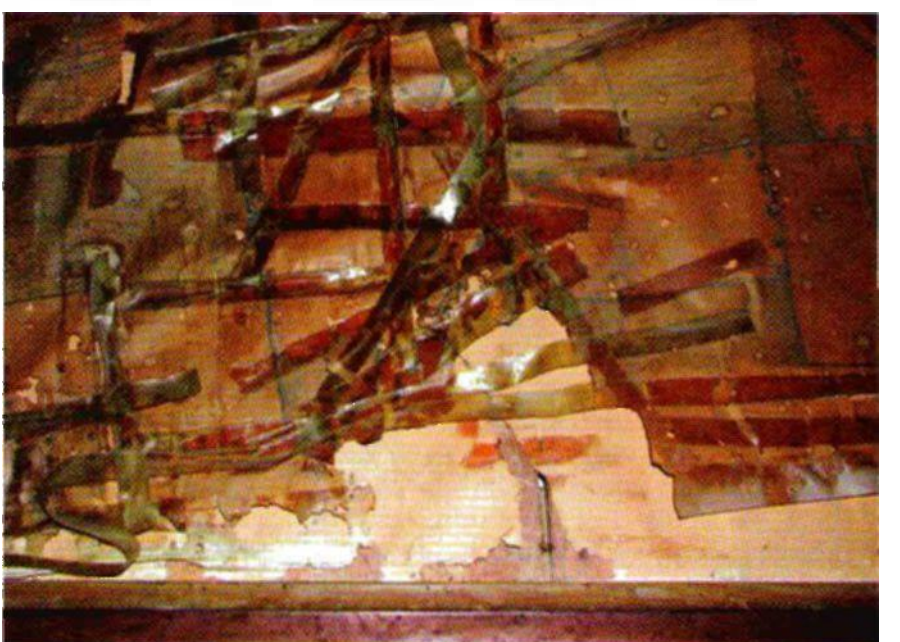


ILUSTRACIÓN 4. Las cintas adhesivas tienen efectos muy negativos sobre el papel. A medio plazo, pierden su capacidad adhesiva y causan manchas en el papel de casi imposible eliminación. En la imagen se observan cintas adhesivas semidesprendidas y, en la parte inferior, las manchas que quedan cuando la cinta se desprende.

Existen además otros tipos de manchas que no se deben a la acción de elementos externos al papel, sino a causas internas. El ejemplo más notable son las «manchas» de *foxing*, que aquí se han descrito más abajo como una forma de degradación química del papel.

2. DEGRADACIÓN QUÍMICA DEL PAPEL

La degradación química del papel se produce en general de forma pausada y progresiva, por mecanismos que aún hoy no conocemos completamente. En la actualidad se acepta que hay dos mecanismos de degradación primordiales:

1. Escisión de la cadena polimérica por ruptura del enlace beta-1,4-glucosídico (el que se establece entre los carbonos 1 y 4 de cada monómero).
2. Degradación de los monómeros por transformación oxidativa de los grupos oxhidrilos de los carbonos 2, 3 y 6.

Estos cambios se producen de forma natural y pausada, pero hay factores que pueden acelerarlos de forma notable:

- La presencia de alumbre, propia del encolado en tina
- La presencia de lignina
- La conservación en medios con elevadas temperaturas
- La conservación en medios con niveles elevados de humedad relativa
- La exposición a radiaciones UV, especialmente en el caso de papeles con lignina
- El contacto con tintas ferrogálicas

El deterioro químico del papel es cuantitativamente el principal problema de conservación del papel a nivel mundial. Los anglosajones han acuñado la expresión *slow fire* para describirlo, que significa, literalmente, «incendio lento». Esto es así porque los procesos químicos de deterioro se producen de forma lenta pero inexorable en todas las bibliotecas del mundo, y porque sus mecanismos químicos son similares a los que se producen de forma súbita durante la combustión del papel. Este problema afecta de forma especial a los papeles producidos con pasta de madera, es decir, a buena parte de los aparecidos desde aproximadamente 1850, y se manifiesta de dos modos fundamentales: por un lado, el papel pierde buena parte de sus resistencias, haciéndose más y más friable, hasta hacer imposible su manipulación (ilustración 5). Por otro lado, se produce un amarilleo generalizado del papel, que puede llegar a ser muy intenso (ilustración 6).

ILUSTRACIÓN 5. Desde el punto de vista de la conservación, el síntoma más importante del deterioro químico del papel es la pérdida de resistencias físicas, que lo vuelve quebradizo y frágil. Las roturas limpias y rectilíneas y el desprendimiento de pequeños fragmentos durante la manipulación son un síntoma muy característico de los papeles que han sufrido un deterioro químico importante. Afortunadamente, este tipo de deterioro sólo alcanza niveles peligrosos en el caso de los papeles elaborados con pasta de madera.

ILUSTRACIÓN 6. El amarilleo es un síntoma del deterioro químico del papel. En la imagen se observa el reverso de dos hojas de mediados del siglo XX; la que está arriba ha sido elaborada con pasta de baja calidad, y su coloración se ha alterado notablemente.

A causa de su evolución lenta y progresiva, es difícil evaluar el alcance de la alteración química del papel, que en muchas ocasiones sólo resulta evidente cuando ya está muy avanzada. Uno de los indicadores es el pH del papel: en general, la acidez del papel se incrementa de forma proporcional a su deterioro. Así, un papel con un pH 6 se considera moderamente deteriorado, mientras que un pH 5 se considera gravemente deteriorado. Las hojas de papel se suelen medir empleando papel tornasol o pHmetros.

2.1. EL *FOXING*

El término *foxing* describe un tipo de deterioro muy frecuente en el papel occidental. El *foxing* es un tipo de deterioro químico que se manifiesta por un conjunto de manchas de tonalidad ocre. Las manchas de

foxing suelen presentarse como un conjunto a veces muy numeroso de motas o pequeñas zonas coloreadas que cubren una parte de la hoja, o incluso toda ella. Cada mancha suele tener unos pocos milímetros de diámetro —o de longitud si las motas no son circulares (ilustraciones 7 y 8).

ILUSTRACIÓN 7. Ejemplo de *foxing* en un grabado.

ILUSTRACIÓN 8. Ejemplo de *foxing* en una fotografía.

No existe un acuerdo sobre el origen del *foxing*. Las dos teorías más extendidas atribuyen este problema a causas químicas (la presencia de impurezas metálicas que catalizan el deterioro químico localizado del papel) o biológicas (la acción localizada de bacterias). Es probable, de hecho, que ambas causas puedan producir el mismo síntoma (el *foxing*), de modo que ambas teorías no son necesariamente excluyentes entre sí.

3. DEFORMACIÓN DEL PAPEL

Las deformaciones del papel pueden estar causadas por diversos motivos. Los más comunes son la humectación excesiva y la acción mecánica. Las deformaciones se manifiestan como arrugas, pliegues u ondulaciones, y perceptivamente son uno de los problemas más notables.

Las ondulaciones se caracterizan por afectar al conjunto de la hoja o a superficies grandes; se pueden considerar como arrugas a gran escala, y suelen estar causadas por unas condiciones de conservación inadecuadas. Las causas más comunes son las defectuosas condiciones de conservación, lo que suele incluir un mal montaje o almacenamiento inadecuados y unas condiciones termohigrométricas muy cambiantes.

Las arrugas, por el contrario, suelen estar causadas por una incorrecta manipulación y afectan a zonas pequeñas. A diferencia de los pliegues, las arrugas no suponen la rotura del papel.

Los pliegues son deformaciones muy localizadas causadas por un fuerte aplastamiento del papel sobre sí mismo. Se caracterizan porque

ILUSTRACIÓN 9. Pliegues y arrugas causados por una reparación inadecuada.

además de la carateristica deformación de la hoja, conllevan también la microrotura localizada del papel, formando una línea en una cara del papel. Por ello, y hasta cierto punto, los pliegues se pueden al menos considera también una forma de rotura.

4. ROTURA DEL PAPEL

La acción mecánica puede conducir a la rotura de la hoja. El restaurador pronto aprenderá a apreciar distintos tipos de rotura: rasgados, rotura por plegado y corte.

Cada rotura puede presentar distinto grado de biselado y desgaste en sus bordes, que puede determinar la técnica de su restauración y/o su resultado. En los rasgados y roturas por plegado, las fibras no se fragmentan: cuando el papel es sometido a tensión, son sobre todo las uniones interfibrilares las que se deshacen, de modo que las propias fibras permanecen enteras sin sufrir grandes daños (ilustración 10). Por el contrario, en los cortes, las fibras son seccionadas por la acción del instrumento de corte (como cuando se corta con unas tijeras) o por la propia debilidad de las fibras (como cuando se rompe un papel friable), mientras que los enlaces interfibrilares permanecen inalterados. Dado que la mayor parte de los cortes se hacen perpendicularmente al papel, lo que la zona de rotura suele ofrecer muy poca superficie para la aplicación del adhesivo. Como consecuencia, las roturas por corte casi siempre exigen un refuerzo local que garantice la solidez de la unión, mientras que en muchas roturas por rasgado pueden repararse sin necesidad de refuerzo alguno.

ILUSTRACIÓN 10. Detalle de un rasgado. En este detalle se puede observar con claridad cómo las fibras del papel se han separado sin llegar a romperse, produciendo un borde barbado.

5. ADHESIÓN DEL PAPEL

En ocasiones, un grupo de hojas es sometido a una humectación intensa. Cuando esto ocurre, y si no se actúa con rapidez, se puede producir, entre otras cosas, la adhesión de las hojas entre sí. Estos casos son muy comunes en lugares donde se ha producido una inundación, pero también pueden ocurrir simplemente almacenando los objetos en condiciones de alta humedad relativa, como por ejemplo en un sótano especialmente húmedo. Este problema afecta de forma especial a papeles con encolado superficial, como los papeles *couché* (ilustración 11).

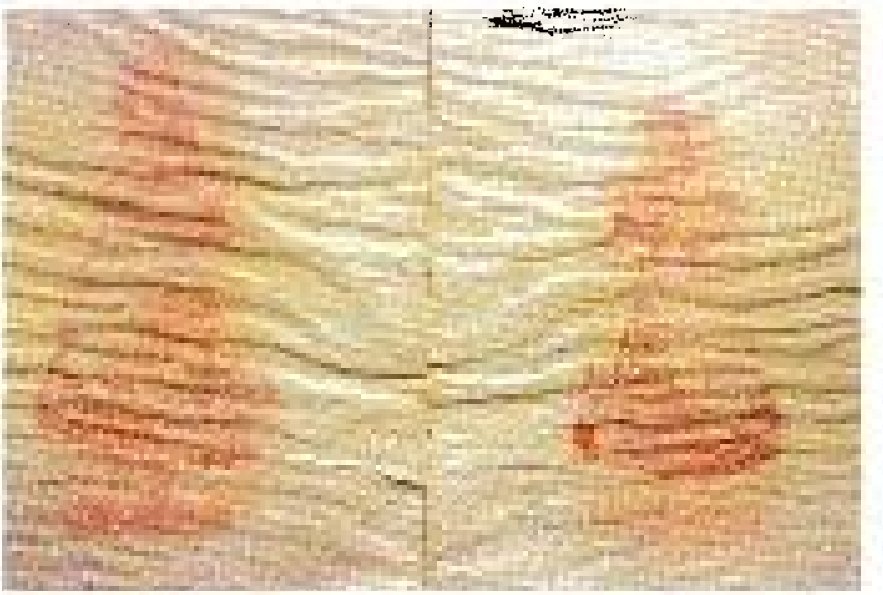


ILUSTRACIÓN 11. Efectos de la adhesión de las hojas de papel couché entre sí, causada por la humectación del papel. Cuando el usuario intentó separar las hojas, éstas se rasgaron, produciendo el curioso efecto que se observa en la imagen. Además, se puede observar cómo parte de la tinta roja de la página se ha adherido a la página contigua.

6. PÉRDIDAS DE PAPEL

Las pérdidas de papel en una hoja pueden producirse por motivos diversos. Los más comunes son la acción humana deliberada (ilustración 12), la acción de insectos y otros animales bibliófagos (ilustraciones 13 a 15) y el desgaste de las hojas por manipulación intensa.

ILUSTRACIÓN 12. Cartel de la Guerra Civil española del que se ha recortado el emblema central

ILUSTRACIÓN 13. Daños en un libro causados por insectos bibliófagos.

ILUSTRACIÓN 14. Este retrato familiar al gouache fue atacado por roedores, que causaron su fragmentación y la pérdida de buena parte de su superficie.

ILUSTRACIÓN 15. Daño causado por el *Lepisma saccharina*. Este insecto es muy común en muchas partes del mundo, y se caracteriza porque ingiere el papel a ras de superficie, disminuyendo su grosor progresivamente. Esto altera la textura original y destruye los elementos gráficos incluso donde no se llega a producir la perforación del papel

También es un efecto habitual de la tinta ferrogálica. Como se ha indicado arriba, estas tintas pueden degradar el papel hasta deshacerlo literalmente: el resultado es que las páginas escritas con esta tinta acaban presentando perforaciones de importancia (ilustración 16).

ILUSTRACIÓN 16. Daños causados por la tinta ferrogálica (para facilitar la observación se ha colocado una hoja blanca debajo de las dos primeras páginas).

7. PÉRDIDA DE LA CAPA SUPERFICIAL

Algunos papeles *couché* presentan un problema particular, y especialmente insidioso: la pérdida o alteración de la capa superficial, sobre la que se sustentan todos los elementos gráficos de la hoja. Puesto que esta capa es en realidad una imprimación pictórica a escala reducida, es posible encontrar problemas variados: craquelados, descamaciones, disolución parcial, etc. (ilustración 17).

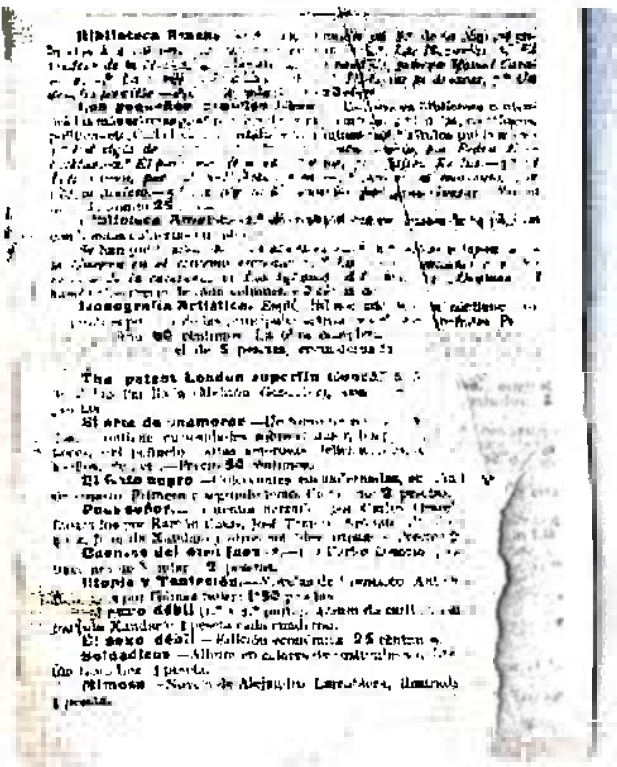


ILUSTRACIÓN 17. La caída de la capa superficial de este papel *couché* ha causado la pérdida parcial del texto impreso.

8. DETERIORO DE LOS ELEMENTOS GRÁFICOS

Los problemas que hemos visto hasta ahora afectan exclusivamente al papel, pero los documentos se componen también de elementos sustentados, como hemos visto en el Capítulo 5. Éstos pueden verse afectados de muchas maneras. Elaborar una lista exhaustiva de estos problemas es imposible, pero se pueden citar los casos más frecuentes:

- Alteración cromática de los tintes por exposición a las radiaciones UV (ilustración 18).
- Difusión de los tintes hacia las zonas periféricas formando halos de color o a través del papel formando manchas en la cara opuesta: es lo que se conoce como «sangrado» (un ejemplo es el que aparece en la ilustración 2 del capítulo anterior).
- En técnicas secas, arrastre de pigmentos por manipulación descuidada.

ILUSTRACIÓN 18. Estas dos impresiones fueron realizadas seis años antes de que se tomara la fotografía y conservadas en condiciones similares. La de la izquierda, sin embargo, fue hecha con tintas sensibles a la luz y se ha decolorado notablemente.

- Descamación de pinturas al *gouache*.
- Disolución parcial del grafismo por inundaciones o por humectación local.
- Manchas de grasa en torno a los trazos de pinturas a la cera o grabados calcográficos.
- Amarillamiento de barnices. Durante mucho tiempo ha sido típico barnizar ciertos grabados, generalmente de tipo religioso. El barniz habitualmente empleado para este cometido es gomalaca, la cual experimenta un acusado amarilleo al poco tiempo de haber sido aplicado (ilustración 19).
- Sulfuración u oxidación del blanco de plomo, que adquiere una tonalidad grisácea o parduzca (el blanco de plomo fue muy empleado hasta mediados del siglo XIX como blanco en acuarelas, *gouaches* e, incluso, como blanco en técnicas secas).

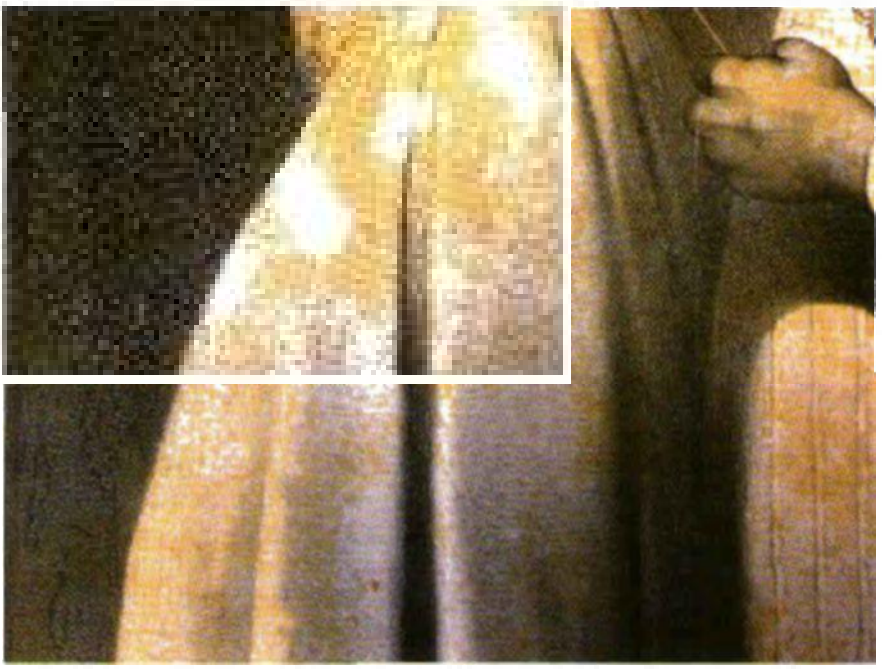


ILUSTRACIÓN 19. Detalle de un grabado del siglo XIX. El grabado fue barnizado con gomalaca, que ha amarilleado notablemente y se ha descamado en algunas zonas, lo que permite apreciar el color real del papel y hasta qué punto su apriencia se ve alterada por el deterioro del barniz.

9. OTRAS ALTERACIONES DEL PAPEL

Por supuesto, hay muchos otros problemas de conservación del papel que no se pueden citar aquí por razón de tiempo y espacio. Lo que se ha ofrecido es una introducción a un tema que casi literalmente se puede calificar de infinito. Pero incluso un restaurador del papel poco experimentado habrá encontrado problemas no descritos aquí, o combinaciones de problemas difíciles de imaginar. De nuevo es necesario recordar que no hay problemas genéricos, sino problemas individuales más o menos similares entre sí.

CAPÍTULO 7

INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

1. LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PAPEL DENTRO DE LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES: PRINCIPALES OPERACIONES

Los problemas a los que se enfrenta el conservador y restaurador del papel presentan ciertas peculiaridades respecto a otras especialidades. En particular, al profesional de esta especialidad le suelen preocupar los problemas del soporte más que los de los elementos sustentados. En la restauración de pintura, por ejemplo, se dedican muchos esfuerzos a recuperar la capa pictórica; aunque desde luego también se ocupan de los soportes, en la práctica la mayor parte del tiempo de trabajo se suele dedicar a la limpieza, reintegración y consolidación de la película pictórica. En la restauración del papel, por el contrario, se dedica mucho tiempo a solventar o paliar los problemas del soporte, pero muy poco a tratar los problemas de las tintas del grabado o los trazos del textos, por poner un ejemplo. Por supuesto, hay excepciones, pero la mayor parte del trabajo de los restauradores del papel se dirige precisamente a tratar el papel. Las razones son de tipo técnico, y podemos reunirlas en dos grupos.

En primer lugar, los materiales sustentados suelen ser más estables que el soporte. El papel es extraordinario desde muchos puntos de vista, pero desde luego no es imperecedero. Se deteriora por el uso incorrecto o descuidado: se desgarra, se arruga, se desgasta, se ensucia... Este tipo de problemas es muy abundante, y podría evitarse de forma sencilla mediante una actitud más cuidadosa, pero además el papel también se deteriora químicamente por la acción de determinados agentes ambientales de origen natural o artificial, de más difícil prevención.

En segundo lugar, los materiales sustentados son muy frágiles. Los elementos sustentados en los documentos, textos, dibujos, grabados, pinturas, etc., son estratos de tinta, pintura, grafito o pigmentos que forman unas capas sutiles y extraordinariamente delgadas. Técnicamente es muy complicado actuar sobre ellas, máxime teniendo en cuenta que los proble-

mas que presentan, además, son muy característicos, y no siempre existen soluciones viables para ellos. Se debe además tener en cuenta que estos materiales suelen ser observados a muy corta distancia, lo que hace aún más difícil su tratamiento.

Las técnicas de restauración del papel incluyen entre otras cosas procesos muy delicados de reintegración de faltantes, de blanqueo, de limpieza, de refuerzo, de alisado, etc.

Una vez realizado el preceptivo registro de la obras, el restaurador planifica y desarrolla una serie de operaciones (ilustración 1). Si, como suele suceder, durante el proceso aparecen circunstancias imprevisibles o se obtienen datos que hacen variar las estimaciones iniciales, las decisiones se readaptan a estas nuevas circunstancias. Aunque raramente hay dos tratamientos exactamente iguales, en este capítulo se destacarán una serie de operaciones que constituyen la base de la restauración del papel, y que proporcionarán un visión general sobre qué cosas suelen hacer los restauradores a las hojas restauradas.

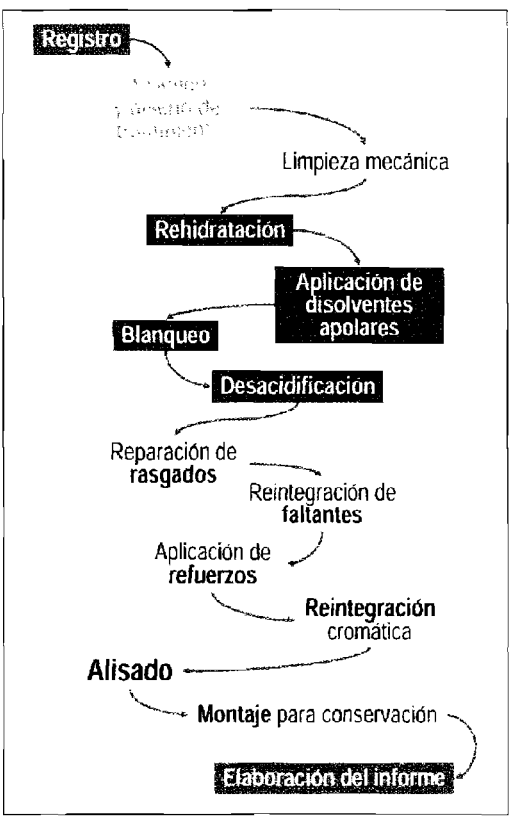


ILUSTRACIÓN 1. Secuencia típica de las distintas etapas de un tratamiento de restauración idealizado. El recuadro en azul indica qué tratamientos implican el baño o humectación del papel. Por supuesto, los tratamientos no siempre exigen la realización de todos los procesos, ni siempre se pueden realizar en este orden, pero el esquema describe una secuencia a la que se tiende.

2. OPERACIONES DE LIMPIEZA

Las técnicas de limpieza se basan en operaciones que se pueden clasificar en dos grandes categorías según su principio de funcionamiento: la remoción mecánica de la suciedad y la disolución. La remoción mecánica se ejerce mediante brochas, gomas de borrar, cepillos de fibra de vidrio, etc. Las disoluciones exigen un buen conocimiento de una gama amplia de disolventes y, más importante aún, una experiencia y pericia suficientes para permitir una aplicación adecuada. Hay otras opciones de limpieza más sofisticadas, como el uso de enzimas, o la aplicación controlada de radiaciones láser. Sin embargo, estas técnicas y otras similares están todavía en fase de desarrollo, requieren una preparación muy laboriosa o necesitan un instrumental muy sofisticado y costoso, de modo que su utilidad real (así como su popularidad entre los restauradores) es todavía escasa.

3. OPERACIONES DE BLANQUEO

Mientras que la limpieza implica simplemente la remoción de elementos ajenos al papel, el blanqueo supone su alteración química. Esta alteración tiene por objetivo la destrucción de los grupos cromóforos de las manchas o, más frecuentemente, los que resultan del deterioro químico del papel, y que son responsables de su amarilleo u oscurecimiento. Tradicionalmente, esto se lograba mediante la aplicación de compuestos oxidantes, lo que presenta varios problemas: por un lado, aunque el papel resulte efectivamente blanqueado, su estabilidad química resulta perjudicada, por lo que a medio o largo plazo se acelera el deterioro. Por otro lado, la efectividad del proceso de oxidación no es total en todos los casos, porque algunos tipos de manchas o de papeles responden mal a este tipo de tratamiento. Una opción alternativa son los procedimientos basados en reacciones de reducción, algunos de los cuales se han demostrado inocuos o incluso beneficiosos para la conservación del papel, y capaces de blanquear tipos muy variados de papel. Sin embargo, en líneas generales, la efectividad de estos blanqueadores reductores es menor que la de los oxidantes, por lo que el restaurador debe hacer un balance cuidadoso de los pros y contras de cada técnica.

4. OPERACIONES DE REINTEGRACIÓN

Sin duda, la operación más vistosa para el público profano es la reintegración de partes faltantes del papel. Efectivamente, resulta asombroso ob-

servar cómo los abundantes orificios de forma irregular que tenía un determinado documento han desaparecido sin dejar rastro después de pasar por el laboratorio de restauración. El procedimiento para ello es, desde luego, bastante delicado, y exige del restaurador unas buenas dosis de paciencia y destreza. En este sentido, la reintegración de faltantes puede considerarse emblemática del carácter de la conservación y restauración del papel, que en conjunto es un campo en el que predominan los procesos breves pero de gran precisión y riesgo, frente a otros campos en los que se desarrollan trabajos más amplios y de mayor duración. El lector podrá entenderlo mejor si tiene en cuenta que la reintegración de un faltante en un documento a menudo supone la obtención de un papel de similares características al original (lo que a veces implica su fabricación y teñido) y el «tallado» de ese papel nuevo hasta adaptarlo de forma perfecta al orificio que se pretende restaurar. Si el trabajo se desarrolla con la exactitud necesaria, la reintegración resultará invisible a simple vista, aunque se podrá identificar con facilidad observando la hoja bajo lentes de aumento o al trasluz. Por supuesto, a nadie se le oculta la destreza que exige este tipo de procesos, especialmente teniendo en cuenta que las obras de las que se ocupa este campo de la conservación y restauración son observadas de forma mucho más detenida y próxima que las de muchos otros campos.

Afortunadamente, existen diversas técnicas y materiales que hacen más asequibles este tipo de trabajo, e incluso se ha extendido el uso de reintegradoras mecánicas, que aceleran enormemente los procesos de reintegración de faltantes. Estas reintegradoras se basan en un principio sencillo, similar al proceso de fabricación del papel: la hoja a restaurar se coloca sobre un filtro, y se hace pasar agua con pulpa en cantidades adecuadas; el agua (y con ella la pulpa) pasa por donde menos resistencia encuentra, es decir, por los orificios, formando papel justo allí donde se necesita. Sin embargo, el desarrollo práctico de este principio es bastante complejo. Existen diversas máquinas, más o menos acertadas, que se basan en él: una de las mejores es el modelo español Vinyector, que ha ido experimentando diversas mejoras y que se emplea en bibliotecas de todo el mundo. Sin embargo, es necesario destacar que por motivos técnicos los procesos de reintegración mecánica no son siempre aplicables; en general, resultan muy adecuados en el casos de libros impresos, pero no en el caso de dibujos, planos, carteles, manuscritos, pasteles, acuarelas, etc. Aunque la reintegración manual es más lenta y complicada, la reintegración mecánica también exige una notable experiencia a la hora de seleccionar los tipos, colores, y cantidades de pulpa, y las condiciones de aplicación.

5. OPERACIONES DE REFUERZO

En ocasiones, aún cuando no se hayan producido faltantes, las hojas se encuentran en un estado de debilidad tal que se hace necesario su refuerzo. Esto se puede lograr por medios muy sofisticados, como por ejemplo mediante la *graft copolymerization*, un proceso químico que se desarrolló en Reino Unido para mejorar las resistencias de las fibras celulósicas que componen el papel. Sin embargo, este procedimiento y otros similares son desde el punto de vista tecnológico extraordinariamente complejos, y exigen una inversión en instalaciones e instrumental cuyo costo hace inviable su aplicación excepto en condiciones y con volúmenes de trabajo casi industriales. Así, en la práctica es mucho más adecuada la aplicación de sistemas más sencillos y de eficacia probada; entre éstos destacan el reapresto y la laminación. El reapresto consiste en impregnar la hoja en un material adhesivo que contribuya a cohesionar las fibras. La laminación consiste en adherir al papel una lámina de material de refuerzo que permita su manipulación (ilustraciones 2 a 4). En ambos casos, es necesario estudiar el estado y la composición de la obra a restaurar para realizar una decisión adecuada sobre la naturaleza de los productos de reapresto o adhesión y sobre su dosificación, sobre la lámina de refuerzo, y, en especial, sobre los sistemas de aplicación.

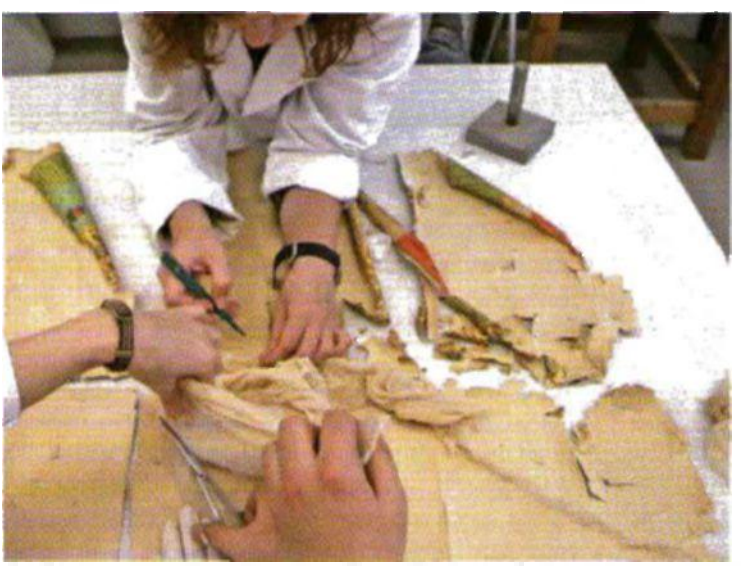


ILUSTRACIÓN 2. La restauración del papel puede implicar tratamientos muy distintos. El tratamiento de este mapa ha requerido la realización de varias etapas hasta llegar al resultado final. En esta imagen se está procediendo a la retirada de un refuerzo de tela y de su adhesivo

ILUSTRACIÓN 3. Para proceder a la laminación y afinado del mapa de la ilustración 2 se reubican todas las piezas

ILUSTRACIÓN 4. El mapa de la ilustración 2 después del tratamiento.

6. OPERACIONES DE DESACIDIFICACIÓN

Muchas veces, la pérdida de las resistencias mecánicas de los papeles y su amarilleo se deben a una serie de reacciones químicas que se producen en la celulosa presente en las fibras del papel. Estas reacciones son causadas, entre otras cosas, por la acidez generada por ciertos componentes del mismo papel, que a su vez producen más acidez como resultado, dando lugar a una reacción autosostenida. Este tipo de problemas afecta de forma especial a una parte muy importante de los papeles producidos a partir de 1850, cuando se introdujeron las fibras elaboradas a partir de maderas (hasta entonces sólo se producían papeles a partir de fibras de

plantas anuales). La importancia de esta cadena de reacciones nocivas es muy grande, aunque de hecho sea ignorada por el público profano porque el deterioro se produce tan lentamente que pasa desapercibido –algo que no ocurre, por ejemplo, con una mancha de aceite, o un rasgado. Por ello, la eliminación y la prevención de la acidez es una operación importante: una operación que para el espectador es totalmente imperceptible, pero que a largo plazo puede ser la más beneficiosa de todas.

La desacidificación se realiza introduciendo en el papel sustancias que neutralizan la acidez presente y con capacidad para neutralizar la acidez que se produzca en el futuro. Los carbonatos de calcio, bario, o magnesio, o el borohidruro de sodio son algunas de estas sustancias. Para su aplicación existen métodos muy diversos. En el caso de las obras de arte, o de los documentos únicos o excepcionales, es frecuente la desacidificación de hojas individuales, una acción que es lenta y laboriosa, pero relativamente segura. Sin embargo, desde hace tiempo se vienen investigando y desarrollando procesos de desacidificación en masa, destinados a permitir la desacidificación rápida de volúmenes y legajos enteros, como los que frecuentemente se encuentran en bibliotecas y archivos. Hoy por hoy, estos sistemas aún resultan costosos y arriesgados, y no se consideran aptos más que para la conservación y restauración de materiales comunes, como libros impresos o periódicos.

7. OPERACIONES DE ALISADO

Al igual que la limpieza o la reintegración de faltantes, la operación de alisado del papel es muy notable para el espectador, y contribuye de forma decisiva a mejorar la apariencia de la obra restaurada. El alisado se basa en la capacidad de las moléculas de celulosa para asociarse con moléculas de agua, lo que le hace perder las resistencias mecánicas. Así, cuando el papel se halla en estado húmedo, es posible hasta cierto punto reordenar las fibras que lo componen, reduciendo o eliminando las ondulaciones y arrugas. Si entonces se hace que el papel pierda un cierto número de esas moléculas de agua añadidas (por evaporación, por ejemplo), la hoja permanece en ese nuevo estado. Desgraciadamente, existen numerosos problemas prácticos que hacen que esta operación sea más compleja de lo que la simple explicación de sus mecanismos teóricos sugiere. Por ejemplo, muchas veces, los materiales gráficos del documento son sensibles a la humedad, por lo que es necesario desarrollar sistemas complementarios de prevención. Por otro lado, mantener la hoja en estado liso durante la eliminación del agua excedente no es sencillo, y presenta muchas complicaciones. El restaurador debe evaluar las muchas circunstan-

cias involucradas en el proceso, y adaptar los sistemas conocidos o desarrollar otras variantes en función de las necesidades de cada objeto. Incluso así, el tratamiento de alisado a menudo requiere una supervisión directa, durante la cual es necesario el reconocimiento de síntomas que para el espectador profano resultarían imperceptibles.

8. LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Un restaurador del papel casi siempre podría hacer algo por mejorar el estado de una obra. Pero dada la extraordinaria delicadeza de este material, y de los materiales gráficos sustentados, debe evaluar muy cuidadosamente los riesgos que implica cada operación, contrapesando los beneficios potenciales. El resultado de esta evaluación es que muy a menudo, y a diferencia de lo que ocurre en otros campos, la mejor acción de conservación y restauración de un objeto basado en el papel consiste sencillamente en mejorar sus condiciones de conservación, sin siquiera tocarlo. La conservación y restauración del papel es en este sentido menos satisfactoria para el público que la de otras especialidades, ya que produce resultados menos perceptibles. Como se ha sugerido antes, la conservación y restauración del papel es, ante todo, conservación.

CAPÍTULO 8

LA LIMPIEZA DEL DOCUMENTO

1. LA ELIMINACIÓN DE MANCHAS

La eliminación de manchas es una de las actividades más comunes del restaurador del papel. Esta actividad es además fácilmente perceptible para el espectador, por lo que suele convertirse en uno de los criterios para juzgar el éxito de un trabajo de restauración. Sin embargo, en realidad la eliminación de manchas no siempre depende de la pericia de restaurador, porque hay muchos factores ajenos a su trabajo que influyen en este proceso. Dicho aún más claramente, el éxito de una operación de eliminación de una mancha depende más de la propia mancha que del restaurador. Como muchos de esos «factores ajenos al restaurador» son no sólo no controlables, sino incluso no identificables, nosotros los reunimos bajo el nombre, poco técnico pero muy expresivo, de «suerte».

Efectivamente, la eliminación de manchas depende en buena medida de la suerte. Hay manchas aparentemente tenues y que sin embargo resultan imposibles de eliminar, y manchas enormemente vistosas que se pueden limpiar completamente. En la mayor parte de los casos, sin embargo, los resultados son sólo parciales: la mancha resulta menos perceptible después del tratamiento, pero pocas veces se hace desaparecer por completo. Por supuesto, cuando los restauradores publicamos nuestro trabajo damos preferencia aquellos casos en los que el éxito ha sido más llamativo; esto está bien, y en cierta medida es lógico que así sea, pero también contribuye a fomentar la idea de que los restaurador somos capaces de solventar con éxito cualquier problema. Esto no es así. Sencillamente, la tecnología actual no garantiza la eliminación de cualquier mancha en cualquier caso.

2. PROCESO GENERAL DE ELIMINACIÓN DE MANCHAS

Para eliminar una mancha el restaurador selecciona una o varias de las acciones siguientes:

- Limpiar mecánicamente la mancha.
- Disolver la mancha o algunos de sus componentes.
- Decolorar la mancha hasta hacerla imperceptible aplicando compuestos oxidantes o reductores.
- Cubrir la mancha con una pintura u otro tipo de colorante similar al del entorno.

Cada una de estas opciones tiene ventajas e inconvenientes. Una adecuada combinación de ellas producirá resultados adecuados en muchas ocasiones. Sin embargo, sólo la experiencia permitirá al restaurador conocer las posibilidades de cada técnica en cada caso y la inversión de tiempo y trabajo requerida, informaciones imprescindibles para una correcta toma de decisiones.

3. LA LIMPIEZA MECÁNICA

La limpieza mecánica de las manchas es el procedimiento menos complejo desde un punto de vista teórico. Consiste en aplicar uno o varios de los tres procedimientos siguientes:

- Seccionar las partes de la mancha que sobresalgan de la superficie de papel.
- Ejercer una acción de abrasión en las zonas de la mancha que sobresalen de la superficie del papel.
- Arrastrar las partes de la mancha que no estén a adheridas a la superficie del papel (o que lo estén muy tenuemente).

Para desarrollar estos procedimientos el restaurador puede valerse de cualquier instrumento que el uso, la experiencia o el sentido común le aconsejen (ilustración 1). Algunos de los más empleados en la actualidad son los siguientes:

— *Bisturís*. Un bisturí es una cuchilla pequeña especialmente afilada que se emplea habitualmente en cirugía. Las cuchillas de los bisturís se montan sobre un mango, del que se pueden desmontar cuando se desea. Para satisfacer las muy variadas necesidades de los cirujanos se fabrican en una gran variedad de formas; en general, los más útiles para el restaurador del papel tienen filo curvo, con la parte cortante en el exterior de la curva: esto hace mucho más fácil seleccionar el punto exacto en el que se quiere realizar el corte durante muchos de los procesos que más adelante describiremos (ilustración 2). Por supuesto, hay otros tipos de bisturís que

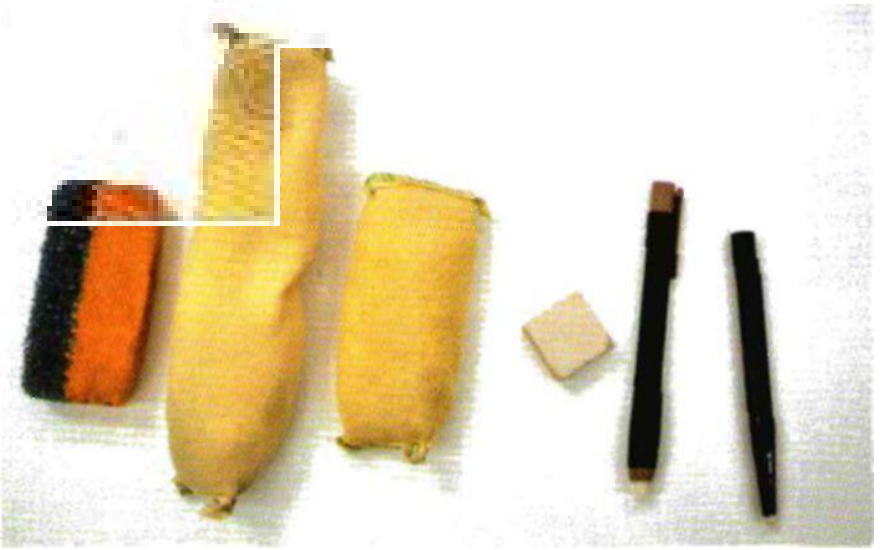


ILUSTRACIÓN 1. Algunos materiales de uso habitual en limpieza mecánica del papel. De izquierda a derecha: una esponja Wishab, dos sacos de viruta de goma, una goma de borrar tradicional, una goma de borrar cilíndrica y una brocha de cerdas de fibra de vidrio.

pueden resultar útiles en algún momento u otro, así que no está de más disponer de una cierta variedad.

Los bisturís tienen un filo extremadamente afilado, pero ese filo se pierde muy rápidamente: a los pocos minutos de uso es perceptible la disminución de la capacidad de corte. Esta disminución puede ser irrelevante en muchos casos en los que la capacidad de corte no es crítica, pero hay técnicas que sólo es posible desarrollar si el bisturí tiene un filo en perfecto estado (como por ejemplo, cuando se cortan fragmentos de papel para

ILUSTRACIÓN 2. El bisturí puede resultar útil para eliminar material sólido de la superficie del papel. En esta fotografía se están retirando restos de un papel adherido con un adhesivo insoluble y que había sido parcialmente arrancado de la hoja, dañán-

injertos); en estos casos, se hace necesaria la sustitución periódica de los bisturís usados.

— *Gomas de borrar*: Las gomas de borrar son una mezcla de gomas sintéticas que contienen partículas abrasivas. Cuando se frotan sobre una superficie producen una suave acción de desgaste, que sin embargo suele resultar imperceptible para un espectador normal en condiciones normales de observación. Las gomas se emplean para eliminar suciedad superficial formada por pequeñas partículas sólidas de tamaño microscópico (polvo, hollín, etc.). Empleadas con moderación constituyen un sistema muy eficaz de limpieza mecánica, pero es necesario tener presente que su acción no es selectiva, y que afecta por igual a los elementos que queremos eliminar, a los materiales gráficos y al propio papel.

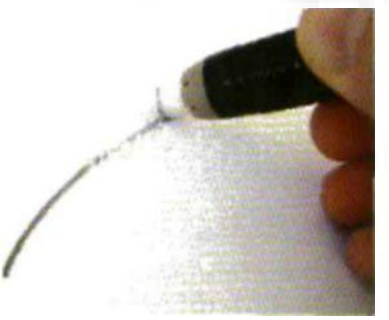


ILUSTRACIÓN 3. Las gomas pueden acumular suciedad en su superficie. Cuando esto ocurre, la goma deja de borrar: no recoge suciedad, sino que la distribuye. Por ello, es muy importante mantener limpia la superficie de la goma.

Existen gomas de diversos tipos. Según el tipo de goma, de abrasivo, y la proporción entre ambos, las gomas pueden ser más o menos agresivas, y más o menos adecuadas para cada uso. No puede hacerse una recomendación general sobre el tipo de goma a emplear, salvo la obvia apelación a la prudencia: en caso de duda, es mejor optar por la menos abrasiva.

ILUSTRACIÓN 4. El saco de viruta de goma está formado por un saquito de tela de trama abierta rellenado con viruta de goma fina. Se usa espolvoreando la superficie con la viruta que hay en el interior del saco y frotando suavemente sobre la superficie a limpiar.

Cuando se usan en restauración, las gomas deben mantenerse escrupulosamente limpias. Si su superficie se ocluye o embota con partículas de suciedad (o de pigmento, o de grafito), la goma resbala sobre la superficie del papel, incrustando entre sus fibras las partículas de suciedad, lo que hace muy difícil su eliminación posterior. Por ello, es necesario cortar la parte usada de la goma cada poco tiempo para garantizar su correcto funcionamiento (ilustración 3).

— *Sacos de borrar*. Los sacos de borrar son pequeñas bolsas de telas suaves y de trama muy abierta que contienen en su interior virutas de goma de borrar. Son una forma más delicada de ejercer la acción abrasiva propia de las gomas de borrar. Esta forma de aplicación es muy cómoda para grandes superficies (ilustración 4), pero si se pretende limpiar una zona concreta es necesario el empleo de máscaras de protección o reservas.

— *Virutas de goma*. Las virutas de goma también se comercializan para su uso directo. Simplemente se depositan sobre la superficie que se desea limpiar, y se frotan con un paño o un pincel. Producen una abrasión extremadamente delicada y tenue.

ILUSTRACIÓN 5. Las virutas de goma se suelen eliminar con una brocha común.

— *Papeles de lija de agua*. Algunas manchas, como las causadas por adhesivos o ciertas pinturas, pueden presentar un grosor notable. Para su eliminación puede resultar oportuno rebajar su volumen antes de proceder a otras acciones. Esto se puede lograr sencillamente mediante la aplicación de un abrasivo como la lija fina, tras proteger debidamente el resto de la hoja.

— *Pinceles y brochas*. Los pinceles y brochas son adecuados para la remoción de suciedad superficial no incrustada o aglutinada, o como instrumento auxiliar para eliminar virutas de goma.

— *Brochas de fibra de vidrio*. Las brochas de fibra de vidrio son empleadas para la eliminación de manchas localizadas. Pue-

ILUSTRACIÓN 6. Detalle de la punta de una brocha de fibra de vidrio. Las cerdas tienen una acción abrasiva muy intensa, que debe controlarse con cuidado.

den ejercer una importante acción abrasiva sobre las fibras del papel y alteran su textura muy rápidamente, aunque son de muy sencillo control.

— *Chorros de aire.* La aplicación de chorros de aire (a presión o aspirantes) es útil para la eliminación de suciedad similar a la descrita en el caso de los pinceles y brochas.

— *Aspiradores.* Los aspiradores producen chorros de aire que arrastran la suciedad hacia el interior del instrumento aspirante. En la práctica, los aspiradores empleados en restauración suelen ser aspiradores domésticos corrientes, a veces adaptados con boquillas con formas particulares, que suelen aplicarse a baja potencia.

En realidad, la variedad de herramientas que se pueden emplear para la limpieza mecánica del papel es muy grande. Esta lista en incluye sólo los útiles más corrientes, pero no es (no puede serlo) una lista exhaustiva. En este sentido quizá el ejemplo más significativo sea el empleo del láser como herramienta de abrasión, una técnica que ha generado una notable expectación en el mundo de la restauración. El láser es capaz de destruir determinados materiales de forma muy controlada; puede actuar calentando la materia hasta volatilizarla, pero también de hacerlo sin generación de calor, produciendo lo que se conoce como *fotoablación fría*.

Lo más interesante de esta herramienta, y lo que la ha hecho aparecer como una posible solución a muchos problemas técnicos en el campo de la conservación y restauración, es el hecho de que, al menos en teoría, la radiación láser puede afectar a unos materiales concretos y ser inocua para otros: variando los parámetros de la radiación (frecuencia, pulso e intensidad) podríamos hacer que el láser actúe de forma selectiva sobre unos materiales, sin alterar en lo más mínimo a los demás. Así por ejemplo, podríamos eliminar de la superficie de un documento valiosísimo hasta la más pequeña partícula de tiza (carbonato cálcico) sin afectar a las fibras del papel, que están compuestas de celulosa.

Sin embargo, en la práctica el láser no produce resultados tan pefectos: ni la limpieza obtenida resulta completa, ni la superficie del papel resulta inalterada. En resumen, el láser no es un instrumento tan selectivo como se había esperado. De hecho, este problema de la limpieza mediante láser es extensible a muchos otros campos de la conservación y restauración. Por ello, en la actualidad su uso está prácticamente limitado a campos en los que el material que se está limpiando no es tan frágil y delicado como en nuestro caso: limpieza de fachadas, piezas cerámicas, pinturas al fresco, etc.

Otro problema que no debería ignorarse es el alto coste de este sistema. Aunque el empleo del láser suele ser muy cómodo (la radiación es conducida mediante un cable de fibra de vidrio hasta un pequeño proyec-

tor del tamaño de una linterna que sujeta el restaurador), el coste de estos aparatos es hoy por hoy muy alto, especialmente si tenemos en cuenta la escasa efectividad que esta técnica ha demostrado en el campo del papel.

En definitiva, la limpieza mecánica de una obra o documento sobre papel sigue siendo básicamente una cuestión de habilidad y práctica. No hay reglas generales, porque los factores que entran en juego son muchos y muy variados. El sistema más eficaz para limpiar un mismo tipo de mancha puede variar en cada caso según el calandrado del papel, o el tipo de encolado, o el grano de su superficie, o la antigüedad de la mancha, o la forma en que ha sido almacenado ese papel, o incluso, por qué no, la destreza del propio restaurador, o las condiciones en las que desarrolla su trabajo. La regla más útil es aplicar el sentido común y la experiencia adquirida, si se dispone de ella. Si una persona ha desarrollado una habilidad especial en el manejo de un determinado tipo de bisturí, puede no ser sensato hacerle emplear una brocha de vidrio, y si alguien maneja con destreza la brocha de fibra de vidrio, puede ser inútil imponer el empleo de una goma de borrar determinada. Cada caso suele ser particular, y cada circunstancia presenta unos condicionantes (técnicos, éticos, económicos, temporales) particulares, que son imposibles de contemplar *a priori*. Quien haya conocido los sistemas de limpieza mecánica que se aplican en distintos laboratorios, habrá podido constatar hasta qué punto cada restaurador desarrolla y aplica sus propias técnicas, y lo variadas que éstas pueden llegar a ser. Y sin embargo, a pesar de esta diversidad los resultados pueden ser igualmente correctos. El criterio para evaluar la bondad de estas operaciones es en realidad muy sencillo: se trata de constrastar la cantidad de suciedad superficial eliminada con la abrasión producida a la superficie del papel. Esta abrasión es inherente a muchas técnicas de limpieza mecánica, y el restaurador debe ser consciente de ello, aunque no resulte perceptible a simple vista. En este sentido, el uso de un microscopio estereoscópico, o, más sencillamente, de una lupa o cuentahilos, puede proporcionar al restaurador información muy valiosa.

4. SOLVENTES Y SOLUTOS

Una disolución es un tipo de mezcla en la que lo que se mezclan son moléculas individuales y, a veces, incluso moléculas parcialmente disociadas. Cuando una sustancia se disuelve, lo que ocurre es que las moléculas del disolvente se insertan entre las del material disuelto (o soluto), disgregándolas. Los disolventes, pues, actúan separando las moléculas del soluto. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando disolvemos un puñado de azúcar en un vaso de agua, o cuando un restaurador del papel disuelve un pegote de acetato de celulosa con acetona. Por el contrario, una

mezcla de pigmentos o de polvo fino en un líquido no es realmente una solución, sino una dispersión.

4.1. Disolución selectiva

Aunque pueden haber mezclas de varios tipos, las que importan al restaurador son en la práctica totalidad de los casos, disoluciones de sólidos en líquidos. Si un sólido puede disolverse en un líquido es porque las moléculas del sólido se atraen de manera parecida a como se atraen las moléculas del líquido. De este modo las moléculas del sólido se ven atraídas por las del líquido, y se mezclan con éstas. Si la cantidad de disolvente es suficiente, las moléculas del sólido pueden ser arrastradas por las del líquido, lo que permite su eliminación. Este fenómeno es muy habitual en procesos de limpieza del papel.

Muchos materiales de los que se disuelven en restauración pasan por un estado viscoso antes de disolverse completamente. Básicamente, esto ocurre cuando se intentan disolver polímeros, es decir, moléculas de gran tamaño. En estos casos, puede ocurrir que las moléculas de disolvente se intercalen entre algunas partes de dos polímeros adyacentes sin llegar a separarlos completamente. Cuando esto sucede, el cuerpo disuelto se hincha (porque las moléculas de disolvente intercaladas hacen aumentar el tamaño del conjunto) y se reblandece (porque las moléculas que lo forman están ya parcialmente separadas). En muchos casos, estos polímeros terminan por disolverse al cabo de un tiempo, pero en otros la disolución completa no llega a producirse. El restaurador debe saber distinguir entre ambos casos, para decidir cuándo tiene sentido insistir con el disolvente y cuándo no lo tiene. Cuando sólo se produce hinchazón (pero no auténtica disolución), el restaurador debe actuar mecánicamente, eliminando los residuos reblandecidos con una pequeña espátula, con un bisturí o con otro instrumento similar.

5. LOS DISOLVENTES EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PAPEL

Para la restauración del papel se emplea cualquier disolvente que elimine la mancha sin dañar al documento. Aunque ningún disolvente tiene exactamente las mismas propiedades que otro, no es necesario disponer de una gran cantidad de ellos para enfrentar la gran mayoría de los problemas encontrados en restauración del papel. Una selección típica de disolventes podría estar compuesta por los siguientes productos:

- Agua
- Etanol
- Amoníaco (solución acuosa de NH_3)
- Acetona
- Acetato de etilo o amilo
- Xileno
- Esencia de trementina
- *White spirit*

Aunque en restauración del papel los disolventes se suelen emplear de manera muy limitada, es necesario tener presente que muchos de ellos pueden tener efectos nocivos sobre la salud, por lo que siempre deben emplearse con las debidas precauciones. Los disolventes sugeridos aquí presentan una toxicidad comparativamente baja, pero no son completamente inocuos y deben aplicarse siempre con las debidas precauciones, tales como una buena ventilación y, sobre todo en el caso de tratamientos de larga duración, con mascarilla adecuada. En especial, el xileno, el acetato de etilo y el *white spirit* pueden tener efectos negativos sobre la salud a medio o largo plazo. El amoníaco, por el contrario, es muy irritante y puede dañar las mucosas nasales o los ojos si entra en contacto con ellos.

5.1. La selección del disolvente

Muchas veces, la decisión sobre el disolvente a emplear se hace basándose en los conocimientos adquiridos y en la experiencia previa. En otras ocasiones, por el contrario, la mancha es de naturaleza totalmente desconocida o se comporta de manera imprevisible, lo que exige probar diversos disolventes. En la tabla que se incluye más abajo se sugieren algunos disolventes adecuados para eliminar una serie de manchas típicas, pero en cualquier caso, es necesario tener presente que la prueba de solubilidad sobre la propia mancha es más decisiva que cualquier conocimiento previo, tanto teórico como práctico.

Las pruebas de solubilidad se realizan aplicando una pequeña cantidad de disolvente mediante un hisopo, un pincel o una pipeta Pasteur, y comprobando cómo se comporta la mancha. Para observar el resultado resulta útil el empleo de una lupa binocular o una lente de aumento; la formación de un pequeño cerco es un síntoma de que se produce disolución, pero es necesario tener precaución, porque si el cerco llega a ser perceptible en condiciones normales de observación, se convertirá en una nueva mancha que deberemos eliminar. Además, la interpretación de resultados puede ser complicada, porque quizá lo que se esté disolviendo sea algún

componente del documento, y no la propia mancha: si la hoja de papel está envejecida, es probable que también se disuelvan productos de degradación del propio papel; si la mancha está sobre una capa pictórica, puede disolverse la capa pictórica; si la mancha está sobre una tinta, puede disolverse la tinta; si la manchas está sobre una impresión en tri- o cuatriocromía, puede disolverse cualquiera de las tintas empleadas para producir el color; y así sucesivamente. Este problema puede paliarse presionando suavemente (nunca frotando) sobre la mancha con un fragmento de papel blanco y poroso o con un hisopo de algodón, y observando si la mancha migra a este papel, y en qué medida.

Conocer cómo se comporta una sustancia soluble cuando se hace una prueba de solubilidad es fundamental para elaborar un juicio correcto sobre el comportamiento real de esa mancha cuando se intente su disolución, pero no se debe olvidar que el comportamiento de una sustancia no es idéntico cuando se le aplican microlitros de disolvente con una pipeta Pasteur o con un pincel que cuando es completamente sumergida en él. Podría decirse que la única prueba de solubilidad auténticamente fiable es la que se realiza cuando se lleva a cabo la verdadera disolución de la mancha. La experiencia, sin embargo, permite al restaurador interpretar signos de muy difícil sistematización, y prever con un aceptable grado de precisión los resultados probables de una determinada técnica de disolución y de un determinado disolvente.

5.2. La aplicación del disolvente

La aplicación del disolvente elegido se puede hacer simplemente mediante un pincel o un hisopo, siempre con cuidado de no deteriorar la superficie del documento. El exceso de disolvente puede recogerse por el reverso trabajando sobre un secante. Si es necesario, se puede ayudar a la eliminación del disolvente también desde el anverso, empapando el exceso con cualquier material absorbente.

Un problema muy común cuando se eliminan manchas por disolución es la difusión capilar del disolvente por el papel. Aun cuando el disolvente se aplique en una zona cuidadosamente delimitada, la capilaridad hace que éste se extienda de manera poco controlable. El uso de una mesa de succión es muy útil para paliar este problema.

Otra opción, más radical, consiste sencillamente en bañar toda la hoja en el disolvente (ilustraciones 7 y 8). Este procedimiento tiene la importante ventaja de que evita cualquier posibilidad de producir cercos en la hoja. Además, la hoja es tratada por igual en toda su extensión, lo que reduce el riesgo de que en el futuro se produzcan alteraciones diferenciadas

si el disolvente altera en algún sentido la estabilidad del papel o las tintas. Otra ventaja de esta técnica es su sencillez, porque no requiere más destreza que la necesaria para realizar los baños acuosos, incluida la observación atenta para detectar indicios de disolución de tintas. Por otro lado, el baño en disolventes no acuosos también tiene desventajas. Los vapores del disolvente pueden alcanzar concentraciones elevadas; el coste económico del disolvente puede ser alto; su manipulación puede implicar riesgos (muchos de estos disolventes son inflamables). El disolvente también puede afectar a algunos componentes del papel, como las colas, alterándolos de manera notable. Como siempre, es el restaurador el que debe decidir si las ventajas superan o no a los inconvenientes en cada caso.

ILUSTRACIÓN 7. La disolución mediante baño es eficaz, sobre todo cuando se trata de eliminar un gran volumen de material. En este caso, un barniz de gomalaca muy deteriorado cubría toda la superficie de una cromolitografía a color, ocultándola por completo. El baño en una cubeta de metacrilato permitió la rápida y completa eliminación del barniz.

ILUSTRACIÓN 8. El agua también puede actuar como disolvente, y a menudo lo hace. En este caso, un baño en agua permitió la disolución del adhesivo de un cartón de refuerzo de muy baja calidad, permitiendo su retirada.

6. CASOS TÍPICOS

En ocasiones, la mancha es de naturaleza conocida, de forma que partimos con una idea bastante precisa sobre qué tipo de materiales la eliminarán. A continuación se describen algunos casos típicos con las soluciones que suelen (pero sólo suelen) dar mejores resultados.

Hongos (hifas y micelios)	Limpieza mecánica
Hongos (coloración del papel)	Blanqueo
Amarilleo del papel	Disolución en agua. Si es necesario, blanqueo
Foxing	Blanqueo
Excrementos de insectos	Limpieza mecánica. Si es necesario, blanqueo
Manchas de humedad	Disolución en agua. Si es necesario, blanqueo (ilustraciones 9 y 10)
Grasa	Disolución con acetona, *white spirit* u otros disolventes no polares
Cinta adhesiva	Disolución en acetona o tricloroetileno. A partir de diez o quince años desde la aplicación de la cinta, la disolución suele ser difícil o imposible (ilustraciones 11 a 13)
Barro	Limpieza mecánica y baño en agua. En papeles porosos puede ser difícil eliminarlo por completo
Tinta china	Disolución en agua. En papeles porosos es difícil eliminarla por completo
Tinta de bolígrafo	Disolución en etanol u otros disolventes poco polares. Dependiendo de la antigüedad de la mancha y de su formulación, su eliminación puede ser muy difícil
Otras tintas	Disolución y blanqueo. Los resultados pueden ser muy variados, porque dependen de la formulación de la tinta, y en particular de la presencia de tintes y/o pigmentos
Lápiz	Limpieza mecánica. En papeles porosos es difícil eliminarlo por completo
Cera	Fusión mediante espátula caliente y absorción en papel secante y disolución

ILUSTRACIÓN 9. Una mancha de humedad antes de la limpieza. El hecho de que la pintura sea una acuarela y por lo tanto soluble en agua, puede hacer muy complicada la disolución de este tipo de manchas. Además las manchas de humedad pueden acabar amarilleando el papel, por lo que su limpieza total puede llegar a ser imposible.

ILUSTRACIÓN 10. Sin embargo, en este caso la mancha se pudo eliminar de manera muy satisfactoria.

ILUSTRACIÓN 11. Este documento no sólo está perforado por el lacre con el que estuvo en contacto, sino que además está dividido en tres fragmentos a causa del desgaste en la zona de pliegues.

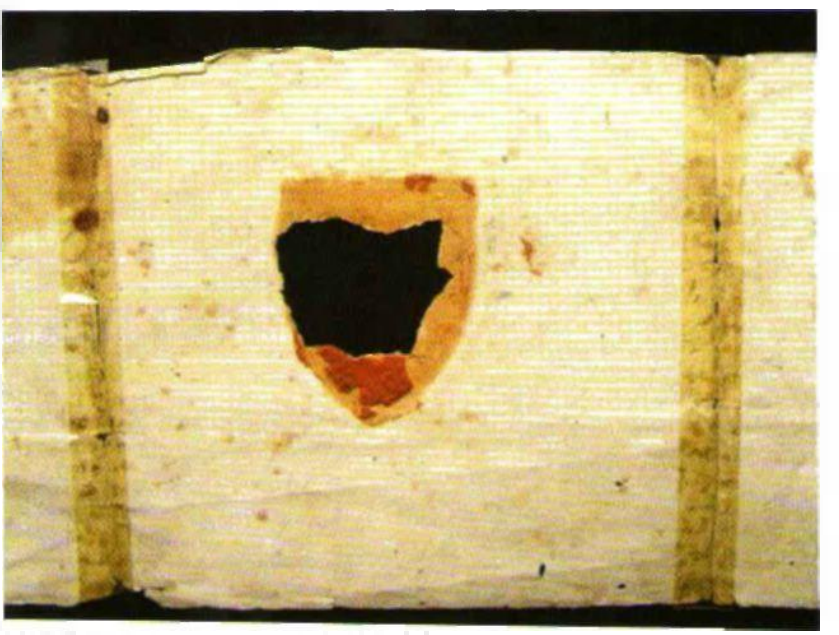


ILUSTRACIÓN 12. Para mantener unidas las piezas de este documento, alguien aplicó cinta adhesiva repetidamente.

ILUSTRACIÓN 13. La cinta adhesiva presente en el momento de la restauración se separó por disolución; sin embargo, la grasa de la cinta había penetrado en el papel y se había oxidado, lo que hace imposible su eliminación.

7. LAS ENZIMAS

En la última década se ha investigado el uso de enzimas para la eliminación de manchas. Las enzimas o «los enzimas» (ambas formas son válidas en castellano) son compuestos químicos que pueden funcionar como disolventes altamente selectivos. Las enzimas son capaces de disolver sólo ciertos compuestos sin afectar a los demás, por lo que resultan muy útiles en el campo de la conservación y restauración. Sin embargo, en la actualidad su uso se ha demostrado poco eficiente. El operativo necesario para su aplicación es complejo (es necesario mantener unas condiciones de temperatura y pH muy estrictas), y los resultados frecuentemente resultan imperfectos.

CAPÍTULO 9

LOS BAÑOS Y LA HUMECTACIÓN

1. FUNCIONES DE LOS BAÑOS

Los baños de las hojas de papel constituyen uno de los procesos más habituales e importantes dentro de la conservación y restauración del papel. En la mayor parte de las restauraciones es necesario aplicarlos en un momento u otro, y muchas veces constituyen la parte más importante del proceso. Por ello es imprescindible conocer sus principios, su utilidad y sus limitaciones, y adquirir conocimientos, destreza y experiencia suficientes para poder desarrollarlos de forma eficiente y segura, sabiendo evaluar los beneficios que aportamos al documento, los riesgos a los que lo sometemos, y cómo reducir esos riesgos.

Los baños consisten en sumergir la hoja de papel en un líquido durante un periodo de tiempo que puede oscilar entre unos pocos segundos y unas cuantas horas. Generalmente, en el campo de la conservación y restauración esto se hace para lograr una o varias de las finalidades siguientes:

— Extraer elementos no deseados mediante disolución;
— Introducir compuestos beneficiosos para el papel; y
— Provocar en el papel reacciones químicas.

La extracción de elementos no deseados se hace mediante la inmersión del papel en el o los disolventes previamente seleccionados. El disolvente más empleado es el agua, que es capaz de disolver una parte importante de los compuestos de deterioro que producen la acidez y el amarilleo del papel.

La introducción de compuestos en el papel se aplica con cuatro objetivos fundamentales:

— El más importante es la hidratación del papel, que es el medio más sencillo y natural para devolver al documento parte de las resistencias mecánicas originales. En este procedimiento se introducen moléculas de agua entre las moléculas de celulosa.

— El reencolado (o reapresto) de los documentos es también un proceso que se desarrolla mediante baños. En este caso el documento se sumerge en una disolución muy ligera de la cola que hayamos seleccionado.

— La desacidificación del papel incluye la adición de una reserva alcalina que impida la acidificación futura del papel. Este procedimiento puede ser muy importante para la conservación del documento, y hoy por hoy el método más eficiente de aplicación es también la inmersión de papel en una solución desacidificadora.

— A veces, y por motivos fundamentalmente estéticos, el restaurador desea impartir al papel un tono determinado. A menudo esto se hace mediante la aplicación de tintes. Si se desea una aplicación homogénea y uniforme, el método más sencillo es sumergir todo el documento en un tinte adecuadamente seleccionado y preparado.

Normalmente, el restaurador no desea provocar reacciones químicas que puedan alterar la composición original de un documento. Sin embargo, algunos compuestos oxidantes o reductores pueden producir un cierto *blanqueo del papel*, lo que puede justificar su aplicación. Un método cómodo y controlable de aplicar los reactivos es mediante la inmersión del documento en líquidos adecuadamente formulados.

Muchos de los tratamientos que se desarrollan mediante baños podrían hacerse también mediante otros sistemas más sencillos y menos arriesgados; por ejemplo, los líquidos pueden aplicarse mediante pincel o brocha, o mediante aerografía. Sin embargo, el baño presenta ventajas respecto a estos otros métodos, porque permite que la acción de líquido afecte a todo el papel (y no sólo a su superficie), y que ese efecto sea homogéneo. Las aplicaciones locales mediante pincel o aerógrafo rara vez garantizan que el líquido penetre totalmente en el papel, o que penetre por igual en toda su superficie, lo que puede tener efectos negativos en muchos casos.

2. RIESGOS DE LOS BAÑOS

A pesar de ser una operación muy común, la inmersión de un documento en un líquido supone riesgos. Por un lado, el papel húmedo, y sobre todo el que ha sido humedecido por líquidos polares como el agua, presenta una importante pérdida de resistencias mecánicas, que hace delicada su manipulación: es muy fácil romper o rasgar un papel cuando se manipula en estado húmedo. Por otro lado, la aplicación de disolventes (y el agua es un disolvente como cualquier otro) puede afectar a partes integrantes del documento original. Por ejemplo, es posible que en un mismo

baño se disuelva, además de la mancha que se deseaba eliminar, una firma escrita con tinta china, o un cuño que permitía la datación de ese documento. Estos riesgos hacen que la inmersión de documentos sea una operación delicada, que exige una buena dosis de prudencia.

Así, previamente a cualquier baño, el restaurador debe estudiar el documento para comprobar la presencia de materiales que puedan verse afectados por cualquiera de los compuestos empleados en los baños. En función de ese estudio se planificará la duración de cada baño, y en ocasiones también la composición del líquido. En particular, es importante prever el comportamiento de los materiales en cualquiera de los compuestos que se emplearán en el baño; esto incluye (casi siempre) el agua, pero también otros compuestos químicos, como el hidróxido de calcio, el borohidruro de sodio, el hipoclorito de calcio o el hiposulfito sódico.

Es difícil hacer un listado completo de los materiales sensibles a la acción de disolventes, porque tanto la variedad de disolventes que se pueden aplicar como la de materiales que es posible encontrar en una hoja de papel son extraordinariamente grandes. Además, hay otros factores que pueden afectar a la solubilidad de esos materiales, como la técnica de aplicación, su antigüedad, o las condiciones de conservación. Todo ello hace complicado el establecimiento de reglas definitivas al respecto, pero al menos se pueden hacer unas recomendaciones que al menos pueden resultar útiles en muchos casos.

Entre los materiales que podemos encontrar de forma habitual en un documento u obra sobre papel, hay algunos que exigen especial atención: las acuarelas, y sobre todo los *gouaches*, pueden ser solubles en agua; la tinta china también puede presentar problemas al ser sumergida en agua; algunos cuños y tintas de pluma o rotulador son sensibles al agua y a los alcoholes metílico y etílico; este mismo problema puede afectar también a ciertas tintas de impresión basadas en tintes, y en especial a las de color rojo. Además, en ocasiones excepcionales las tintas de impresión pueden ser parcialmente disueltas por algunos disolventes orgánicos empleados en nuestro campo.

También se debe tener presente que incluso algunos materiales insolubles se pueden ver afectados por el baño, porque el líquido puede arrastrar sus partículas —algo especialmente espectacular al sacar la hoja del agua. En particular, los pasteles y los dibujos al carbón pueden presentar este problema.

En resumen, es necesario entender que estas recomendaciones son de carácter genérico. En realidad no nos interesa tanto saber si un material es soluble o insoluble, sino el grado de solubilidad de esos materiales: clasificar un material como soluble o insoluble no siempre es útil para el restaurador del papel. Un material puede ser teóricamente soluble en un de-

terminado disolvente, o en unas determinadas condiciones de laboratorio, pero en la práctica real (cuando se trabaja con determinados sistemas de aplicación y con materiales envejecidos en condiciones irrepetibles) el comportamiento puede ser distinto.

3. LAS PRUEBAS DE SOLUBILIDAD

Para conocer el comportamiento del material gráfico en cada caso concreto puede recurrirse a la realización de pruebas de solubilidad. Las pruebas de solubilidad para baños acuosos son esencialmente similares a las descritas en el capítulo anterior con respecto a los disolventes para manchas, porque de hecho el agua es también un disolvente. Consisten en aplicar pequeñas dosis del líquido en el que se va a realizar el baño (generalmente agua) en zonas poco notables y comprobar la reacción del material al cabo de un tiempo. En general, se aplican unos pocos milímetros cúbicos de líquido mediante un pincel fino o una pipeta, repitiendo la aplicación cuando el papel absorbe el líquido. Al cabo de unos dos o tres minutos se comprueba el efecto del agua sobre el material gráfico, lo que se puede hacer de varias formas: una de las más extendidas consiste en aplicar un hisopo de algodón o una tira de papel secante sobre la zona humedecida, presionando sin frotar: después, se comprueba si el material gráfico ha sido absorbido por la tira de papel o el hisopo, dejando una mancha del color correspondiente (ilustración 1). La comprobación puede repetirse varias veces, a distintos intervalos de tiempo: la intensidad de la mancha, y su evolución a lo largo de cada comprobación proporcionan información muy útil para prever el comportamiento del material gráfico cuando se sumerge en el disolvente. Esta misma prueba puede realizarse

ILUSTRACIÓN 1. La cata de solubilidad se realiza haciendo rodar varias veces un hisopo húmedo sobre la superficie del papel, sin frotarlo. Si la tinta es soluble, coloreará el hisopo; la intensidad de la coloración es proporcional a su solubilidad.

con ayuda de un microscopio binocular, comprobando visualmente el efecto del disolvente sobre el material experimentado (hinchazón y reblandecimiento son síntomas característicos que a menudo preceden a la disolución). Otras posibilidades son el empleo de micromuestras, que después se ensayan en portaobjetos con ayuda del microscopio, o el empleo de mesas o discos de succión para reducir el desplazamiento capilar del agua en el interior del papel.

Estas pruebas deben realizarse sobre cualquier material gráfico presente en el documento cuya estabilidad se desee verificar: si hay pinturas de diversos tipos y/o colores, la prueba debe realizarse para cada uno de ellos; si hay varias tintas, debe realizarse una prueba para cada una de ellas (incluyendo las tres o cuatro que generalmente se emplean en reproducción impresa de fotografías e ilustraciones).

Si las pruebas se realizan con cuidado, el daño causado a las obras y documentos con materiales gráficos solubles es imperceptible, y en todo caso mucho menor del que probablemente evitarán. Al respecto, es importante señalar que estas pruebas tienen carácter indicativo, que resulta muy valioso, pero no pueden considerarse como definitivas. Como se ha dicho antes, exponer una pequeñísima zona del documento a la acción de una pequeñísima dosis de disolvente no equivale a sumergirlo completamente en él. La auténtica prueba de solubilidad se produce cuando efectivamente tiene lugar esa inmersión; por ello, en caso de duda, el restaurador debe permanecer observando el documento durante todo el tiempo de inmersión, y estar preparado para interrumpir el proceso si se produjesen síntomas de disolución.

4. LA MANIPULACIÓN DE LAS HOJAS

A causa de la debilidad del papel mojado, la manipulación de la hoja durante el baño exige el uso de un soporte suplementario para introducir, mover, y extraer la hoja de la cubeta en donde se hace el baño. Cada restaurador tiene preferencia por un tipo de soporte, y habitualmente se especializa en el manejo de uno de ellos, que usa de forma habitual. Este soporte puede ser rígido, como un cristal o un bastidor con una tela o una rejilla tupida (ilustración 2), o flexible, como una lámina transparente de polietileno (el componente del plástico habitualmente empleado en las bolsas comerciales), o de uno de los mucho tejidos-no-tejidos disponibles en el mercado, como el *Reemay*® o el *Hollytex*® (ilustración 3). Los tejidos-no-tejidos se denominan así a causa de su método de fabricación: son láminas flexible formadas por un único filamento de un material sintético que se ha dejado caer sobre sí mismo, fundiéndose y adhiriéndose a sí mismo para formar una lámina porosa similar a la de una tela o a la de un papel.

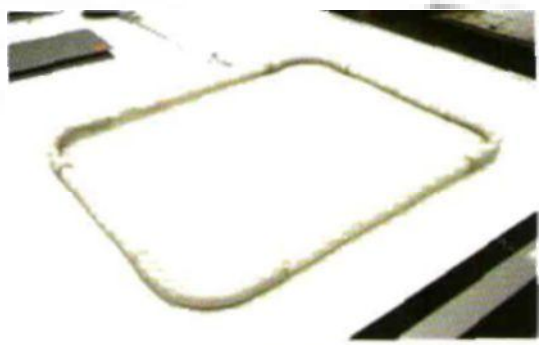


ILUSTRACIÓN 2. Existen varias maneras de manipular una hoja durante el baño. Para manejar materiales especialmente delicados se puede emplear un simple bastidor rígido con una rejilla, como se ve en la imagen.

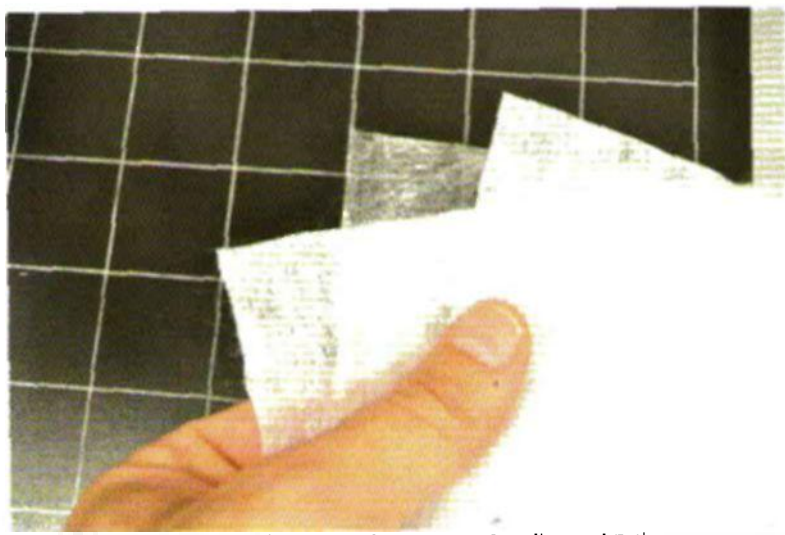


ILUSTRACIÓN 3. Los tejidos no tejidos, como el Reemay, la Bondina o el Pellon, son una opción muy popular para manipular la hojas mojadas antes, durante y después del baño. Existen muchas variedades de tejidos no tejidos de uso en el campo de la restauración del papel, que se diferencian por su gramaje, densidad, rigidez, etc. La elección de uno u otro es casi siempre cuestión de preferencia personal del propio restaurador.

La apariencia de los tejidos no tejidos empleados en restauración puede ser hasta cierto punto similar al papel, pero su comportamiento es muy distinto, y presenta importantes ventajas en su uso como soporte del papel húmedo. El tejido-no-tejido:

- Es resistente a los productos empleados en conservación y restauración.
- Puede ser usado muchas veces antes de presentar síntomas de deterioro.
- No varía sus dimensiones al ser humedecido

• No se adhiere a muchos de los adhesivos empleados en fabricación y conservación del papel.
• Es flexible (por lo que se puede separar de la hoja a restaurar enrollándolo).
• Es un material barato.
• Se comercializa en diversos gramajes.
• Tiene una textura similar a la del papel común, por lo que no altera la textura de la mayor de las hojas cuando éstas se alisan por presión.

Con respecto al los tejidos-no-tejidos, las hojas de polietileno o sus derivados presentan la ventaja de que permiten desplazar el papel sobre ellas cuando esto es necesario (por ejemplo, para alinear dos piezas de una obra); por el contrario, su agarre al papel húmedo es menos fuerte. En definitiva, la elección de un tipo de lámina u otro es en muchos casos una cuestión de preferencia personal. En cualquier caso, el uso de estos soportes es muy similar. Primero se introduce en la cubeta el soporte (que debe ser algo mayor que el papel) y después la hoja a restaurar (ilustración 4). Durante el baño, el restaurador apenas toca con sus manos el documento, sino que manipula el soporte. Para sacar la hoja del baño, se extrae el soporte (ilustración 5): cuando éste entra en contacto con el documento húmedo, ambos quedan momentáneamente adheridos entre sí. De esta forma, no es necesario tocar el documento, y su manipulación se hace más sencilla.

ILUSTRACIÓN 4. Habitualmente, la hoja se introduce en el baño sobre una lámina de polietileno o de un tejido-no-tejido, como el Reemay que aparece en la fotografía.

ILUSTRACIÓN 5. Una vez completado el baño, la hoja se extrae arrastrando la hoja. El papel se queda momentáneamente adherido a la lámina de tejido no tejido.

ILUSTRACIÓN 6. La adhesión que se produce entre el papel húmedo y el soporte suele ser suficiente para que la hoja pueda transportarse en vertical de manera cómoda y segura.

5. DURACIÓN DE LOS BAÑOS

En los casos en los que hay posibilidad de disolución de los elementos, por remota que ésta sea, es imprescindible la observación constante del proceso de bañado, que permita detectar los síntomas previos a la disolución (los más comunes son la alteración de las texturas y la hinchazón de la película), o la propia disolución en el momento mismo en el que empieza a producirse (el signo más común es una ligerísima coloración del agua en torno a las zonas afectadas).

El reconocimiento e interpretación de los síntomas de peligro se hace crucial en este tipo de tratamientos, y se adquiere sólo con la práctica: es necesaria cierta experiencia para saber cuándo se deben adoptar precauciones especiales y cuándo se debe detener el baño. Desgraciadamente, los síntomas que indican la existencia o la mera probabilidad de que se produzcan problemas no pueden ser descritos verbalmente de forma clara o eficaz, pero ello no implica que no existan. Por decirlo de alguna manera, ocurre algo similar a lo que sucede cuando un profano contempla la ecografía de un feto: el ginecólogo es capaz de identificar rasgos significativos que a los demás nos pasarían completamente desapercibidos. Intentar explicar o describir esos rasgos mediante palabras sería completamente inútil y, de hecho, incluso cuando nos lo explican sobre una ecografía muchos rasgos nos resultan invisibles a los que no estamos entrenados. Sin embargo, la experiencia demuestra que en la práctica totalidad de los casos el experto está en lo correcto: los rasgos son reales y él sabe reconocerlos e interpretarlos, aunque no siempre se puedan describir verbalmente. En el caso del baño de una hoja de papel ocurre algo parecido; sería un error pensar que los síntomas no existen sólo por el hecho de que no se dejen describir con palabras. Su reconocimiento es una de las muchas destrezas que sólo se adquieren con la práctica.

Cuando un papel se moja, lo que ocurre en realidad es que un líquido penetra entre sus fibras y sustituye el aire que hay entre ellas. Aparentemente, este proceso se realiza de una forma muy rápida, pero sin embargo, muy a menudo un papel que parece completamente mojado en su exterior todavía contiene en su interior zonas en las que el líquido no ha llegado penetrar (ilustración 7). La rapidez con la que se produce ese proceso depende de factores muy variados y difícilmente controlables: influye el tipo de fibra (determinada por el origen vegetal de la en fibra, por los procesos de refino y de purificación química que después haya sufrido), el grado y tipo de encolado, el estado de conservación, los tratamientos superficiales que pueda haber recibido (bruñido, calandrado, aplicación de adhesivos especiales), la extensión y tipo de tintas u otros elementos gráficos que pueda soportar, el tipo de cargas del papel, etc.

ILUSTRACIÓN 7. A medida que la hoja se impregna de agua, su aspecto cambia, volviéndose menos opaco. Algunas partes de esta hoja se han impregnado de agua, mientras que en otras el agua aún no ha llegado a penetrar en su interior.

Y por supuesto, influye también, y mucho, el tipo de líquido con que se esté mojando ese papel.

La forma más práctica de conocer el estado de humectación de un papel es mediante la observación visual. Cuando el aire que hay entre las fibras del papel es sustituido por el agua (un líquido con un índice de refracción más próximo al de la celulosa), el papel gana en transparencia; como consecuencia, las zonas completamente empapadas presentan un aspecto distinto del resto, en forma de mancha clara u oscura según sea el color de la cubeta en la que se desarrolla el baño. Cuando el papel presenta un nivel de transparencia homogéneo, la humectación es completa.

La duración del proceso de humectación, como se ha dicho, es muy variable. Puede tomar desde unos pocos segundos a varias horas, aunque la mayor parte de papeles se mojan de forma suficientemente completa en un plazo de tiempo que oscila en torno a los 15 ó 30 minutos. Por otro lado, en la práctica, un baño rara vez se prolonga más allá de una hora u hora y media, incluso aunque la humectación de la hoja no sea completa.

Es muy frecuente que algunas partes del papel se mojen antes que otras, y, en algunos casos, hay pequeñas zonas que no terminan de empaparse incluso después de baños muy prolongados. En general, las partes más deterioradas se empapan antes que el resto. Así, en libros o periódicos, las zonas exteriores (las que están en contacto con la atmósfera y con las manos de los usuarios) se mojan antes que el interior de la hoja.

Por supuesto, la duración de los baños puede variar según los objetivos y las circunstancias. Hay muchos ejemplos posibles: el baño de un documento cuyo texto corra peligro de disolución puede —debe— acortarse en lo posible para reducir ese riesgo; en un baño de blanqueo la completa humectación del papel no es crucial; un papel con problemas de deshidratación aconseja un baño de hidratación lo más exhaustivo po-

sible; y así sucesivamente: corresponde al restaurador tomar al respecto las decisiones más adecuadas, tomando en consideración todos los condicionantes, y basándose en su experiencia, conocimiento y sentido común.

5.1. Aceleradores de la humectación

Lógicamente, la humectación del papel será más rápida cuanto menor sea la tensión superficial del líquido (los líquidos con tensión superficial baja penetran antes en los cuerpos porosos como el papel). En particular, el agua tiene una tensión superficial alta —es, si se nos permite la imprecisión, un líquido relativamente viscoso. Una forma de acelerar la hidratación del papel es disminuir la tensión superficial del agua, y la forma más sencilla de lograrlo es añadiendo un líquido de menor tensión superficial. El alcohol etílico (o etanol) es particularmente adecuado, por su inocuidad para el papel y para el restaurador en condiciones de uso normales. La proporción de etanol que debe añadirse al agua del baño no es crítica; en casos típicos, puede oscilar entre 50 y 100 ml por litro de agua, aunque pueden aumentarse o reducirse según se considere necesario. Por supuesto, el etanol puede disolver materiales que son insolubles en agua, lo que obliga al restaurador a tomar precauciones añadidas, tanto más intensas cuanto mayor sea la proporción de etanol empleada. En particular, es necesaria una vigilancia del proceso especialmente cuidadosa; además, y por supuesto, la realización de pruebas de solubilidad con una mezcla de etanol y agua similar a la que después se empleará en el baño puede resultar útil, sobre todo cuando se emplean altas concentraciones.

Para acelerar la humectación, el etanol también puede aplicarse *antes* del baño, mediante pulverizador o aerógrafo. Un papel humedecido con una mezcla de etanol y agua se hidrata rápidamente. Sin embargo, y como se ha indicado arriba, es necesario tener en cuenta el riesgo de disolución que ello supone. La rápida evaporación del etanol hace necesaria una manipulación diligente y cuidadosa: sólo las zonas que están humedecidas por el etanol se humectarán con rapidez al sumergirlas en el baño de agua, por lo que debe aplicarse de manera muy homogénea y evitando que el alcohol se evapore en alguna parte del papel antes de proceder al baño — algo tanto más difícil cuanto más grande es la hoja.

Otros compuestos que pueden reducir la tensión superficial de los líquidos son los detergentes. Durante mucho tiempo se han venido empleando en nuestro campo detergentes neutros. Estos detergentes tienen un efecto tensoactivo similar al del etanol, y hacen que la hoja de papel se moje mejor; sin embargo, tienen efectos colaterales. Aunque los detergentes también ayudan a eliminar elementos grasos que puedan haberse añadido al papel,

no son selectivos: eliminan la suciedad, pero también lo que no lo es; por ello, pueden afectar a elementos gráficos, y en especial a los que tengan naturaleza grasa, como por ejemplo las tintas de impresión o los trazos de un carboncillo. Por otro lado, tras su aplicación es necesario realizar un baño de enjuagado posterior, con la consiguiente inversión de tiempo. En la práctica, estos factores (falta de selectividad y consumo de tiempo) reducen considerablemente su eficiencia. Además, incluso con un baño de enjuagado posterior, la eliminación de los restos de detergente del documento se ha demostrado incompleta, por lo que su uso se ha descartado en muchos laboratorios. El uso de detergentes, por lo tanto, debe evaluarse con mucha prudencia, y quizá sólo está justificado en el caso de algunas hojas con partículas de suciedad grasa. Sin embargo, cuando no se da esta circunstancia, el etanol se ha demostrado como más seguro y eficaz.

6. TRATAMIENTO ACUOSO DE ELEMENTOS SOLUBLES

6.1. Aceleración del baño

Cuando es importante bañar en agua una hoja que contiene elementos solubles, el restaurador puede emplear ciertas técnicas que permiten disminuir los riesgos. La aceleración del baño con metanol, que ha sido comentada arriba, es una de estas técnicas. Puesto que se acelera la humectación, el papel necesita menos tiempo para impregnarse completamente. Así se reduce también el tiempo que el elemento potencialmente soluble pasa sometido a la acción del agua, y por lo tanto el riesgo de disolución. Sin embargo, es necesario tener presente que este procedimiento no acelera los procesos químicos que se producen durante los tratamientos de blanqueo (oxidación, reducción, neutralización): los compuestos llegan antes al interior del papel, pero las reacciones no se producen más rápidamente.

6.2. Humectación controlada

Existe también la posibilidad de realizar lo que podría denominarse como *humectación controlada*. Este control puede realizarse por varios sistemas. El agua puede aplicarse mediante pulverización, lo que permite al restaurador controlar bien la cantidad de agua aplicada, y el posible proceso de disolución. En estos casos la hoja puede curvarse de manera muy marcada, por lo que suele ser necesario hacer aplicaciones también por el reverso. Se pueden emplear pulverizadores manuales, sistemas aerográficos o humidificadores ultrasónicos. Cada uno ellos ofrece determi-

nadas ventajas y presenta ciertos inconvenientes, por lo que no es posible recomendar ninguno en particular: una vez más, es el propio restaurador el que debe elegir según las circunstancias del trabajo.

La *aplicación local* de agua (mediante un pincel, una pipeta, un cuentagotas, etc.), es una técnica muy sencilla, aunque muy delicada. Este procedimiento es apto sólo para tratamientos locales, y en especial para el blanqueo o la disolución de elementos concretos. El empleo de una mesa o disco de succión (ilustraciones 8 y 9) es muy útil para reducir tanto la difusión capilar del líquido como la deformación resultante de la hoja.

El *baño de flotación* es más complejo y delicado. Consiste en dejar que la hoja de papel se impregne lentamente mientras flota sobre la superficie del agua, sin llegar a sumergirse. En muchos casos, la hoja flota sin hundirse durante toda la duración del baño, de modo que los elementos solubles sufren una exposición reducida al agua. Este procedimiento se desarrolla en cubetas con poco agua, y exige mucho cuidado cuando se de-

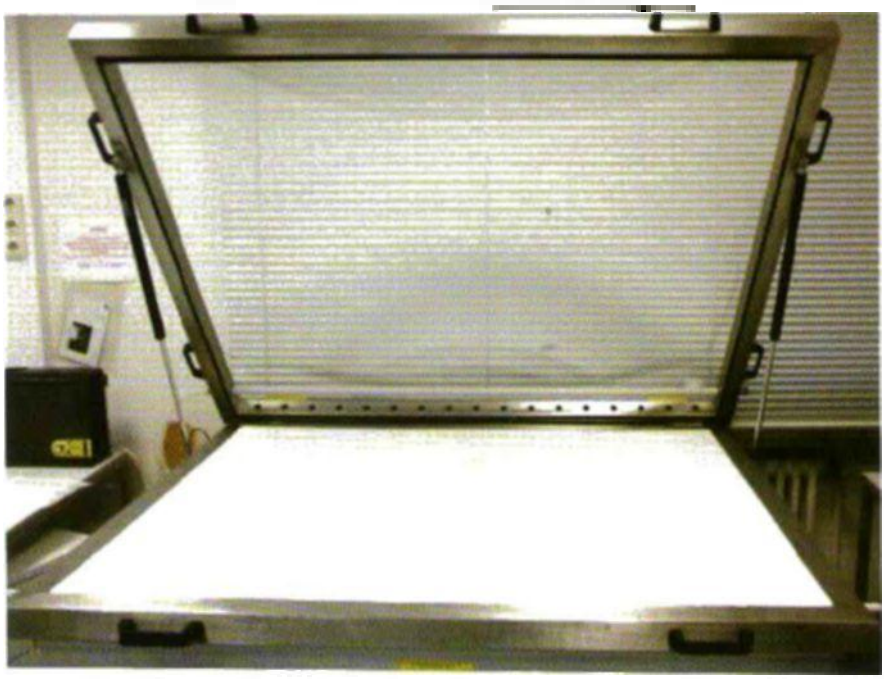


ILUSTRACIÓN 8. Una mesa de succión. La mesa de succión es, en esencia, una superficie porosa que aspira el aire. Existen muchas variedades, desde las más sencillas a las más sofisticadas. La que aparece en esta fotografía tiene una superficie de plástico blanco microporoso, y cuenta con una cúpula abatible que permite su uso como cámara de humedad. Además, cuenta con un sistema automatizado para el control de la fuente de vacío, un aspirador industrial de alta potencia que no aparece en la fotografía.

ILUSTRACIÓN 9. Esta mesa de succión es mucho más simple que la que aparece en la figura anterior. Está compuesta por una superficie metálica perforada que cubre una caja de metacrilato transparente. A pesar de su sencillez, las mesas de este tipo pueden cubrir muchas de las necesidades del restaurador.

posita la hoja. Existen láminas de espumas sintéticas que flotan a ras de superficie y que pueden ser de gran ayuda para realizar este tratamiento. Puesto que el agua no cubre los elementos gráficos en ningún momento, este procedimiento es muy útil para el tratamiento de técnicas secas, como el carboncillo o el pastel, en las que el riesgo de arrastre de los pigmentos es elevado.

La *humectación por contacto* consiste en colocar la hoja entre dos superficies absorbentes humedecidas según las necesidades de cada caso. Estas superficies pueden ser de materiales muy variados: papeles secantes, fieltros naturales o sintéticos, bayetas de secado, etc. En la mayor parte de los casos se hace también necesario aplicar cierto peso al conjunto, para garantizar que la hoja permanece en contacto homogéneo con la superficie humectante. También suele ser útil interponer una hoja de tejido no tejido entre la hoja y el material humectante, para reducir la aportación de humedad o reducir la adhesión que pudiera llegar a producirse entre la hoja y la superficie porosa. La humectación por contacto también puede realizarse colocando la pieza sobre una lámina húmeda y debajo de una lámina seca, y haciendo fluir el agua por capilaridad. También se puede humedecer un

papel o una zona de un papel mediante la aplicación de pastas húmedas, que liberan el agua de manera lenta y controlada. Estas pastas pueden prepararse con muchos materiales; los éteres de celulosa como la carboximetilcelulosa de sodio o la metilcelulosa son opciones perfectamente adecuadas, sobre todo si se emplean variedades de alto peso molecular.

6.3. Aplicación de vapor

La aplicación de vapor de agua es otra posibilidad. Aunque esta técnica sólo es apta para los procesos de rehidratación, es un procedimiento muy seguro para las hojas. El vapor puede aplicarse manualmente mediante chorros de vapor, pero también sometiendo a la hoja a un ambiente con una elevada humedad relativa. La primera técnica es más rápida, pero también más arriesgada, porque una aplicación excesiva de vapor puede dar lugar a la condensación localizada de agua. Además, el vapor suele estar caliente, lo que hace incómodo su manejo. Para paliar esto, en ocasiones se emplea el llamado humidificador ultrasónico. Sin embargo, el «vapor ultrasónico» no es realmente vapor, sino agua tan finamente pulverizada que hasta cierto punto se comporta como el auténtico vapor (ilustración 10).

ILUSTRACIÓN 10. El vapor ultrasónico es en realidad una forma de pulverización del agua. Sin embargo, las partículas resultantes son extremadamente finas y se evaporan muy rápidamente, por lo que en muchos casos el vapor ultrasónico es equivalente al auténtico vapor de agua.

Mantener la hoja en un ambiente con alta humedad relativa es una tarea relativamente sencilla. Para ello existen cámaras con sofisticados equipos de control que mantienen una humedad constante. Sin embargo, en muchos casos se puede lograr una humectación perfectamente satisfactoria mediante procedimientos mucho más simples. El más común consiste en colocar la hoja sobre una rejilla elevada en el interior de una cubeta en la que se ha introducido una pequeña cantidad de agua caliente, cubriendo el fondo sin llegar a tocar la hoja o en un recipiente de boca ancha (un plato, por ejemplo). La cubeta luego se cubre con un cristal para permitir la concentración del vapor en su interior. El vapor impregna la hoja lentamente, produciendo su humectación, tanto más intensa cuanto mayor es la exposición al vapor (los procesos de rehidratación típicos duran entre dos y cuatro horas). El principal riesgo de este proceso se deriva de la condensación en el cristal de gotas de agua, que pueden llegar a caer sobre la hoja y producir cercos o disoluciones localizadas. Las cámaras de humectación comerciales suelen tener una superficie curva para evitar este problema (ilustraciones 11 y 12). Si se ha montado una cámara de humedad en una cubeta, se puede evitar este riesgo mediante recursos sencillos, como colocar un cartón unos centímetros sobre la hoja, inclinar la cubeta lo suficiente para que las gotas resbalen hacia un costado, o cubrirla con una lámina de plástico dispuesta en forma de cono (por ejemplo, colgándola por el centro) en lugar de emplear un cristal. Otro riesgo, algo más improbable, es la formación de cercos de color por sangrado de tintes si la humedad es elevada y el tiempo de exposición largo. En todo caso, es muy aconsejable revisar la hoja periódicamente para comprobar que no se producen estos u otros problemas imprevistos.

ILUSTRACIÓN 11. Una cámara de humedad montada sobre una mesa de succión. La cubierta curva impide el goteo del agua condensada sobre el plástico, mientras que las dos aperturas permiten la manipulación de las hojas durante el proceso de humectación sin tener que abrir la cámara.

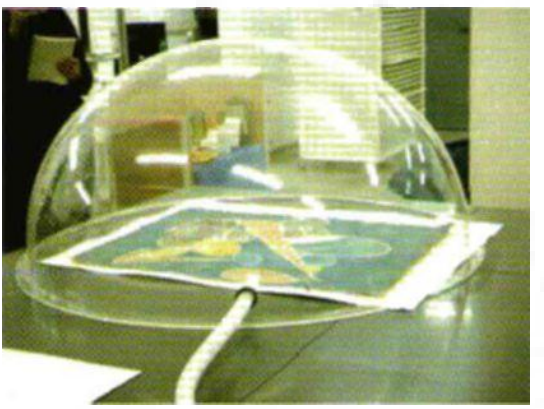


ILUSTRACIÓN 12. Una cámara de humedad eficaz y sencilla, elaborada ingeniosamente a partir de una pieza empleada en la construcción de claraboyas. El tubo lanza en el interior vapor ultrasónico, elevando rápidamente la humedad relativa y humectando la hoja sin empaparla.

Otra técnica de humectación se basa en el uso de láminas microporosas que permiten el paso del vapor de agua, pero no del agua en estado líquido. Estas láminas se fabrican, con finalidades muy variadas, como la fabricación de vestidos, calzados, materiales de empaquetado, o aislamiento arquitectónico. Entre las láminas microporosas más comunes en conservación y restauración del papel están algunas variedades de Tyvek®, Sympatex® y, sobre todo, Gore-Tex®. Su capacidad para permitir el paso de moléculas de agua las hace útiles para el restaurador, y se han incorporado a este campo muy rápidamente. Si se colocan en contacto con una hoja de papel y se aporta humedad por la otra cara (mediante *spray* o fieltros húmedos, por ejemplo), el agua atravesará la lámina hacia la hoja en forma de vapor. Representan por lo tanto un sistema de humectación que se puede ubicar entre las técnicas de aplicación de vapor y las de humectación por contacto. Su ventaja es que permite una humectación muy controlada y segura, y de muy fácil manipulación: permite, por ejemplo, la humectación por vapor localizada; y el examen del grado de humectación por el restaurador es relativamente cómodo. Además, el Gore-Tex®, el Sympatex® y el Tyvek® son resistentes a una amplísima variedad de disolventes, por lo que también pueden emplearse para el desarrollo de procesos de disolución especialmente delicados.

6.4. Fijación e impermeabilización

La impermeabización local o la fijación de pigmentos son técnicas que consisten en la aplicación local o general de un adhesivo no soluble para fijar o impermeabilizar aquellos elementos gráficos que se sospechan solubles. Por ejemplo, un retoque al *gouache* en un grabado que se

ha de bañar en agua se puede cubrir con una solución de Paraloid B72 de una consistencia adecuada (como en todos los casos, es el restaurador quien debe juzgar qué viscosidad es adecuada a cada caso; un restaurador sin experiencia puede comenzar a trabajar con una solución al 15 por 100 en xileno o acetona). Cuando el *gouache* se sumerge, parte de la goma arábiga que actúa como aglutinante puede disolverse, pero, si la fijación ha sido bien hecha, los pigmentos no se moverán porque han sido re-aglutinados con Paraloid B72, que no es soluble en agua. De hecho, si la película de Paraloid es suficientemente abundante, los pigmentos quedarán completamente impermeabilizados —en el caso de elementos gráficos basados en tintes solubles en agua, sólo la completa impermeabilización puede evitar su disolución.

Esta técnica, aún obedeciendo a un principio sencillo, resulta muy discutible. Su aplicación puede cambiar la naturaleza del material gráfico, y casi siempre también su aspecto. Además, su reversibilidad real es enormemente discutible, algo que es especialmente problemático porque en muchos casos las zonas donde se ha aplicado el fijador presentan brillos muy desagradables, que hacen imprescindible su eliminación posterior.

El problema de la irreversibilidad de la fijación de los pigmentos se puede paliar mediante el uso del ciclododecano. El ciclododecano es un hidrocarburo insoluble en agua, y que además tiene la particularidad de sublimar a temperatura ambiente, es decir, de pasar directamente del estado sólido al gaseoso. Esta circunstancia lo hace muy interesante para el restaurador. Cuando se aplica como protección temporal en una hoja, permanece sobre ella durante un tiempo, pero se evapora a los pocos días, lo que hace innecesario desarrollar ningún tratamiento especial para su eliminación.

Aunque la introducción del ciclododecano en el campo de la conservación y restauración es relativamente reciente (la primera mención en la literatura sobre conservación apareció en 1995), su popularidad ha experimentado un crecimiento continuado. El ciclododecano se comercializa en gránulos o en *spray*. Para su empleo como impermeabilizante local, la presentación en gránulos es mucho más útil. Para aplicarlo sobre la hoja se puede preparar de dos maneras: disolviéndo los gránulos en éter de petróleo u otros disolventes apolares, o licuándolo mediante fusión (su punto de fusión se halla en torno a los 60°C). Aunque la aplicación del ciclododecano disuelto pueda resultar más cómoda, la película resultante es más porosa que la producida con ciclododecano fundido, por lo que es más fácil la formación de pequeñas craqueladuras que permitan el paso del agua. Aún así, y en cualquier caso, el ciclododecano es menos aislante que las películas de Paraloid B72, lo que puede suponer problemas cuando se están tratando tintes solubles.

Recientemente, sin embargo, se ha desarrollado una técnica sencilla que palía este problema, y que permite combinar la capacidad de imper-

meabilización del Paraloid con la perfecta reversibilidad del ciclododecano. Esta técnica consiste simplemente en aplicar una doble capa de ciclododecano y Paraloid: en primer lugar se aplica una capa gruesa (de entre 0,5 y 1 milímetro de espesor) de ciclododecano fundido, y después una capa fina de Paraloid, en el orden que se indica en la ilustración 13.

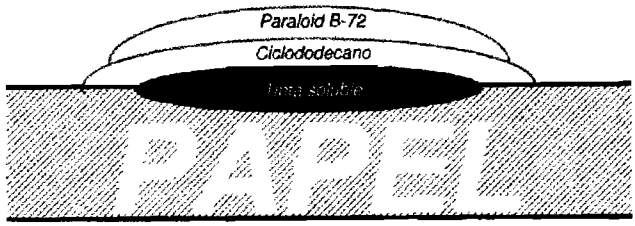


ILUSTRACIÓN 13. Esquema del sistema de impermeabilización de doble capa.

Una vez completado el proceso, el ciclododecano comienza a sublimar, de modo que en el plazo de unos días la película de Paraloid puede retirarse por simple tracción; de hecho, en muchas ocasiones el ciclododecano también puede retirarse por tracción. En todo caso, el ciclododecano remanente se evaporará por sí solo en unos días, o antes, si se acelera la evaporación con calor.

6.5. Baños no acuosos

Otra opción para desarrollar baños de hojas con elementos solubles en agua es la realización de baños no acuosos. Para ello, la hoja se sumerge en un líquido menos polar que el agua —típicamente en alcohol etílico. El baño en etanol no permite los baños de blanqueo, sino sólo los de rehidratación (muy escasa) y limpieza, y de desacidificación (con hidróxido de bario). Esa escasísima rehidratación es causada por las moléculas de agua que los alcoholes suelen contener, procedente de la atmósfera o como residuo del proceso de elaboración en el caso de alcoholes de grados industriales. La contrapartida de esta rehidratación tan imperfecta es que la presencia de agua es tan pequeña que (generalmente) no llega a producir la disolución de los elementos gráficos solubles en agua. Por otro lado, el etanol sí contribuye en cierta medida a la limpieza de la hoja, disolviendo los compuestos de degradación que son solubles en él. Sin embargo, es necesario tener presente que, aunque sea infrecuente, la hoja puede contener elementos gráficos solubles en etanol, por lo que es necesario realizar las pertinentes pruebas de solubilidad.

En esta técnica, y en general en cualquier otra técnica de impermeabilización localizada, se debe tener presente que el agua puede llegar a al-

canzar la tinta soluble atravesando el papel desde la otra cara, o incluso desplazándose por capilaridad en el interior del papel. Para paliar este problema, se puede impermeabilizar el papel también por el reverso; además, en todo caso, se debe limitar la duración de los baños al mínimo imprescindible.

6.6. Interrupción del baño

Las técnicas generales que se han descrito arriba (el baño acelerado, el baño controlado, la aplicación de vapor de agua, la fijación de pigmentos y el baño no acuoso) pueden combinarse entre sí como se considere conveniente. En conjunto, ofrecen al restaurador una amplia gama de recursos técnicos para solventar muchos de los problemas que la presencia de elementos gráficos solubles en agua puede llegar a ocasionar. Sin embargo, hay aún otra técnica (la más sencilla de todas) que es necesario conocer y aplicar cuando sea necesario: la interrupción del baño. Cuando se desarrolla un baño en el que se sospechan riesgos de solubilidad, el restaurador debe vigilar atentamente el proceso, para detenerlo en cualquier momento que se crea oportuno. Una interrupción prematura nunca implica riesgos para la obra: como máximo, podría suponer que el proceso necesite ser completado más adelante. Sin embargo, una interrupción tardía sí puede tener consecuencias irreparables. Como consecuencia, se debe imponer el principio de prudencia, y estar preparado para actuar con rapidez en cuanto se interprete la existencia de peligro. Durante el baño (y en realidad durante cualquier proceso de humectación), el restaurador debe buscar los síntomas clásicos de la disolución inminente (hinchazón, difusión del color, cambio de textura) o cualesquiera otros que juzgue relevantes; para ello, puede ayudarse con pinceles de cerdas suaves para comprobar la estabilidad de los elementos gráficos durante el baño, o mover la hoja dentro de la cubeta. En especial, la atención debe ser mayor al principo del proceso, porque cuando la disolución se produce rápidamente suele tener resultados catastróficos. En este sentido, se debe insistir en que la detección eficaz de estos síntomas sólo puede hacerse a partir de la experiencia. Como en tantos otros casos, la lectura y eventual memorización de un libro, aunque resulte útil, no puede garantizar el correcto desarrollo de estos tratamientos.

CAPÍTULO 10

OPERACIONES DE ALISADO

1. EL ALISADO DEL PAPEL: INTRODUCCIÓN

El alisado del papel es una de las operaciones de restauración más importantes desde el punto de vista estético (ilustraciones 1 y 2). La mejora del aspecto de una hoja cuando ha sido alisada es llamativa, y muy apreciada por los espectadores, aunque desde el punto de vista conservativo no tenga especial relevancia. Sin embargo, en comparación con las operaciones de blanqueo, el alisado del papel suele implicar pocos riesgos para la hoja, por lo que en la práctica es un tratamiento que se aplica casi en la totalidad de los procesos de conservación y restauración del papel.

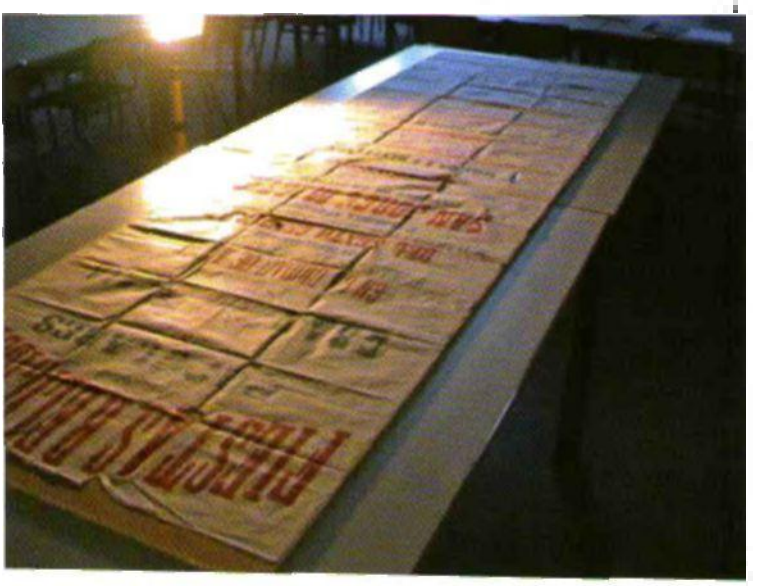


ILUSTRACIÓN 1. Un cartel de gran formato antes de su alisado.

ILUSTRACIÓN 2. El mismo cartel después del alisado. Aunque el alisado no suele tener ningún efecto positivo sobre la conservación de un papel, sí que mejora sus cualidades estéticas de manera notable.

El alisado del papel consiste, en todos los casos, en tres operaciones:

1. Humectación del papel
2. Fijación del papel en la posición deseada
3. Secado del papel

Para alisar la hoja se aprovecha la capacidad de las moléculas de agua para establecer puentes de hidrógeno entre sí y con las moléculas de celulosa. Cuando se produce un aporte de moléculas de agua, éstas se introducen entre las de celulosa, formando puentes de hidrógeno; a su vez, esto produce la hinchazón de las fibras y la relajación de las uniones entre fibras. **De este modo, el papel disminuye sus resistencias mecánicas y aumenta su elasticidad.** Podemos, por así decirlo, modelarlo a nuestra conveniencia con mucha mayor facilidad que en seco.

Si un papel húmedo se fija en una posición determinada y se deja secar, pierde esa elasticidad añadida: los nuevos enlaces interfibibrilares que se han formado en este proceso confieren a la hoja una nueva forma: la misma que tenía cuando se produjo la evaporación. Si la hoja se mantiene plana durante el proceso de secado, el resultado es una hoja lisa.

HUMECTACIÓN DEL PAPEL

Como se ha explicado en el capítulo anterior, la humectación del papel puede realizarse de muchas maneras: la más habitual consiste en sumergirlo en agua, pero también es posible aplicar el agua de forma más controlada mediante una brocha (ilustración 3) o una esponja, trabajando siempre con delicadeza para no dañar la superficie del papel. Si se desea alcanzar un mayor grado de control (por ejemplo, porque la hoja soporte contiene elementos gráficos muy solubles) es posible aplicar el agua mediante un atomizador (ilustración 4) o un aerógrafo, o incluso mediante un pulverizador ultrasónico. Otra posibilidad es la colocación de la hoja entre hojas de papel o fieltro humedecido. En casos especialmente delicados, también es posible humectar la hoja mediante vapor: la manera más segura consiste en incluir la hoja en un medio con una humedad relativa alta durante una cierta cantidad de tiempo, lo que garantiza una humectación suave, homogénea y progresiva. Otra forma de aplicar vapor consiste en yuxtaponer la hoja a un material de barrera que permita pasar el agua en estado gaseoso pero no en estado líquido, como el Sympatex®, el Gore-Tex® o el Tyvek®.

ILUSTRACIÓN 3. La humectación mediante brocha es muy delicada si sólo se desea una humectación suave. Sin embargo, si se adquiere la destreza suficiente, esta técnica permite un control muy preciso sobre la cantidad de agua aplicada.

El grado de humectación que se debe aplicar a cada hoja depende de muchos factores, y puede variar notablemente. Depende, de forma primordial, del grado de alisamiento necesario (lo que a su vez depende del tipo de deformación producido). Depende también del tipo de papel, y esencialmente de su capacidad de retención de agua; esto, a su vez depende del gramaje, del tipo y grado de encolado interno, del tratamiento que haya recibido la capa superficial del papel, de su porosidad, del grado de refino, de la composición, procesado y proporción de las fibras, y del grado de calandrado. Y depende también, por supuesto, del tipo de material

ILUSTRACIÓN 4. La humectación con un pulverizado mecánico representa una opción asequible y eficaz en una gran mayoría de casos. Para evitar las gotas más gruesas, se puede colocar la mano por delante y debajo de la boquilla.

gráfico soportado, que resultará más o menos soluble, y más o menos impermeabilizante. La medición y valoración objetiva de cada uno de estos factores (aún asumiendo que éste es un listado incompleto) resulta imposible; el restaurador debe aprender a hacerlo de forma empírica, poniendo en juego estos y otros factores de forma automática e inconsciente (*intuitiva*, si se quiere), basándose fundamentalmente en la práctica adquirida.

3. ALISADO POR PRESIÓN

Una vez adecuadamente humedecida la hoja, es necesario proceder a su fijación. La fijación se logra habitualmente mediante la aplicación de presión sobre la hoja. La presión debe cumplir exclusivamente dos requisitos: ser suficiente y ser homogénea.

En realidad, la presión requerida por una hoja de papel para permanecer inmovilizada durante su secado es muy pequeña. Para ello se pueden

ILUSTRACIÓN 5. Las prensas manuales de tornillo son empleadas habitualmente en muchos talleres de restauración para el alisado por presión.

emplear prensas manuales o hidráulicas o, más simplemente, pesos colocados sobre las hojas (ilustración 6) (en general, una presión de medio kilo por dm^2 suele bastar para conseguir un alisado satisfactorio en la ma-

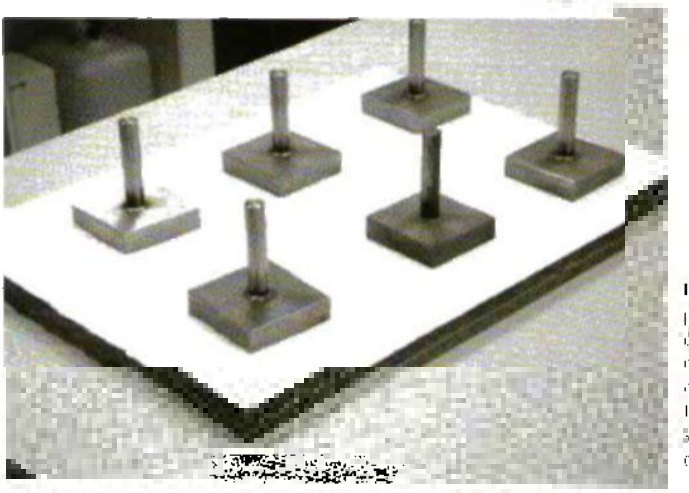


ILUSTRACIÓN 6. La presión puede ejercerse de maneras muy distintas. Una opción muy sencilla es colocar pesos sobre planchas rígidas de madera u otro material.

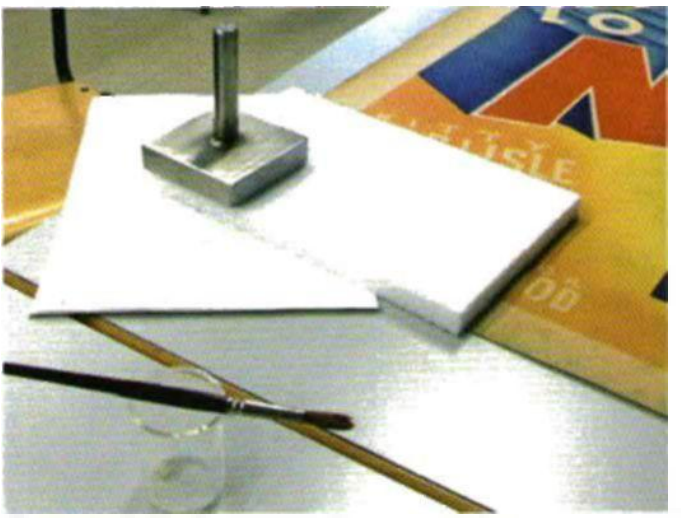


ILUSTRACIÓN 7. A diferencia del alisado por tensión, el alisado por presión puede usarse para el tratamiento parcial de algunas zonas de la hoja.

yoría de los casos). Esta manera de ejercer la presión es la más habitual cuando se tratar de alisar una parte pequeña de la hoja (ilustración 7).

Conseguir que la presión ejercida sobre la hoja sea homogénea es algo más complicado. Una de las formas más sencillas y habituales de lograr este objetivo es emplear planchas de madera impermeabilizadas u otros materiales lisos (láminas de cristal, planchas de metacrilato, Aerolam®, etc.), y prensar las hojas entre ellas. El procedimiento habitual supone la inclusión de la hoja entre papeles secantes u otro material absorbente (ilustración 8). Muy a menudo es además necesario incluir hojas de Reemay® u otro tejido no tejido entre la hoja y los secantes, para evitar la adhesión de ambos. De

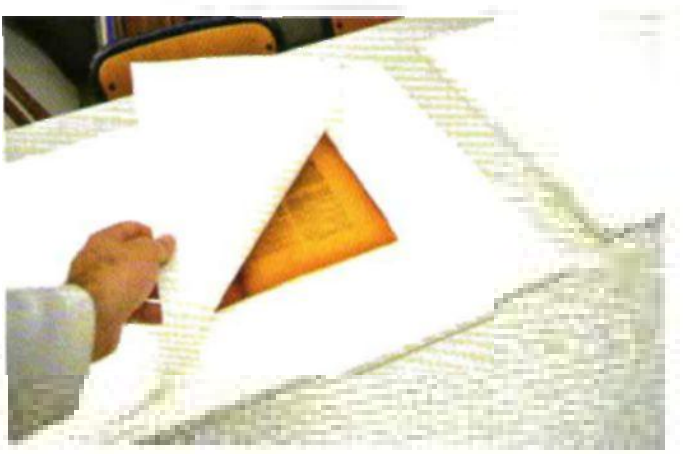


ILUSTRACIÓN 8. En el alisado por presión, la hoja húmeda debe colocarse entre láminas de material absorbente para que la humedad del papel pueda abandonar la hoja. Una opción muy habitual es el papel secante. A su vez, estas hojas se colocan entre dos planchas de un material rígido sobre el que se ejercerá la presión.

hecho, esto es imprecindible cuando la hoja se ha tratado con adhesivos, por ejemplo cuando se han reparado rasgados o se han aplicado injertos, porque de otra manera el adhesivo podría unir la hoja restaurada al secante.

Cuando el secante se satura de agua, el proceso de secado se detiene casi totalmente, y hace necesaria su sustitución. Si esto no se hace así, la alta humedad presente puede producir la proliferación de mohos, que pueden causar daños graves. La frecuencia y número de sustituciones varía para cada tipo de papel y según la forma en que ha sido humectado. De nuevo es la experiencia la fuente de conocimiento más eficaz para su determinación. Sin embargo, como referencia se puede decir que una hoja típica, como las de este libro, puede requerir cuatro o cinco sustituciones antes de quedar suficientemente seca. La frecuencia con que se requiere la sustitución del secante es decreciente: la primera sustitución puede hacerse después de una hora, porque la hoja está tan mojada que satura el secante muy rápidamente; la segunda después de seis horas; la tercera después de un día, etc. Afortunadamente, éste no es un factor crítico, y los plazos pueden variar sin causar demasiados problemas. La sustitución diaria de las hojas, por ejemplo, es una práctica común.

Aunque sus principios teóricos sean muy básicos, en la práctica, el alisado de una hoja no siempre resulta sencillo. El principal problema suele ser la falta de homogeneidad en la presión ejercida sobre la hoja, un problema que se incrementa de forma exponencial cuanto mayor es la hoja a alisar. Es necesario tener presente que la rigidez y lisura de las planchas casi nunca es totalmente perfecta, lo que puede provocar que determinadas zonas de la hoja no resulten fijadas durante el secado, provocando arrugas. La colocación de más peso sobre las tablas, una de las soluciones que intuitivamente pueden parecer más sencillas, resulta con frecuencia inadecuada: la colocación de un material pesado en su parte central produce bajo el peso una zona de mayor presión, mientras que en los laterales hay una presión escasa o nula. Esta falta de homogeneidad puede causar en el papel unas ondulaciones características, de tipo vagamente radial. El reparto adecuado de la presión es por lo tanto un requisito importante para producir resultados satisfactorios.

Para distribuir mejor la presión se pueden intercalar láminas de materiales elásticos entre la superficie rígida y los secantes que contienen la hoja a alisar (ilustración 9). Tradicionalmente se ha empleado fieltro para esta función, aunque también se pueden emplear materiales sintéticos de uso cotidiano, como bayetas escurreplatos, gamuzas de limpieza, planchas de poliestireno expandido de baja densidad, etc. De hecho, el propio papel secante presenta cierta esponjosidad, y actúa, hasta cierto punto, como lámina elástica. Por ello, el papel secante puede compensar pequeñas irregularidades de presión entre las planchas, como puede observarse

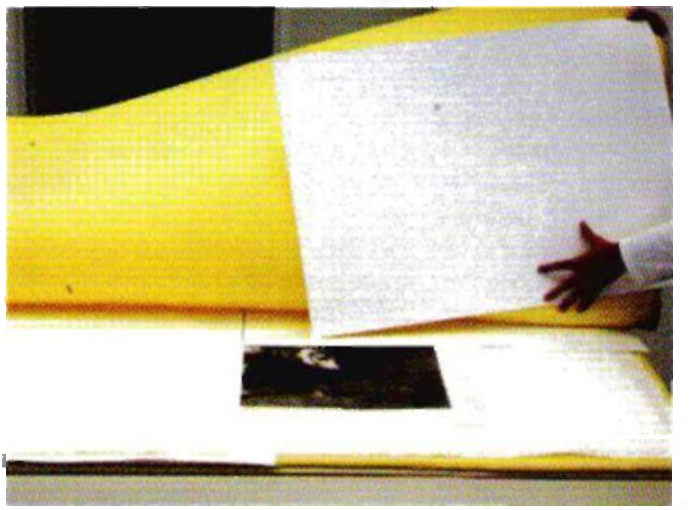


ILUSTRACIÓN 9. Para ayudar a distribuir la presión de manera homogénea durante el alisado, se pueden emplear láminas de material elástico, como el fieltro o la gomaespuma, colocadas entre el material secante y la plancha rígida.

cuando se retiran los secantes húmedos, en los que la forma de la hoja restaurada a menudo ha quedado claramente marcada. Este hecho por sí solo basta para hacer recomendable el empleo de secantes de alto gramaje o de varias hojas de secante yuxtapuestas.

Para ahorrar tiempo, es posible alisar a la vez varias hojas de formatos similares, intercalando secantes entre las hojas. Sin embargo, es necesario tener presente que la acumulación de hojas de formatos no coincidentes resta presión en las zonas donde las hojas no están superpuestas, por lo que se debe alinear las hojas lo más cuidadosamente posible, algo que puede ser difícil cuando se sustituyen los secantes, porque las hojas semisecas no se pueden dejar sin presión mucho tiempo sin que se inicie su deformación.

Estos problemas se pueden eliminar empleando la mesa de succión. La mesa de succión es en esencia una superficie rígida y porosa a la cual se ha conectado una bomba aspiradora. El vacío producido es capaz de fijar una hoja humedecida (en realidad es la presión atmosférica sobre la hoja la que la mantiene fija), permitiendo su secado por evaporación. Puesto que el vacío fuerza la circulación del aire a través de la hoja, el secado se produce muy rápidamente, en lapsos de tiempo que típicamente oscilan entre quince minutos y una hora y media.

Este sistema presenta, sin embargo, algunos problemas. La corriente de aire que circula a través de la hoja arrastra suciedad que la hoja filtra y retiene en su superficie, por lo que se hace necesario cubrirla con otra hoja de papel. Los poros de la mesa de succión también pueden quedar marcados en el reverso de la hoja restaurada, lo que obliga a colocar láminas porosas (por ejemplo de Reemay® o papel secante) para evitar este

problema. Otro inconveniente nada desdeñable es el ruido intenso de las fuentes de vacío, que hacen muy incómodo trabajar en el recinto durante el proceso de secado. Además, la presión resultante no siempre es suficiente para evitar el curvado de muchos tipos de papeles, por lo que es necesario vigilar el proceso continuamente para intentar corregir este problema mediante pesos u otros procedimientos.

4. ALISADO POR TENSIÓN

Los sistemas de fijación descritos hasta ahora se basan en la aplicación de presión sobre la hoja, y de hecho constituyen los procedimientos más habituales. Pero existen otras técnicas, basadas en la adhesión de los bordes de la hoja a alisar a una superficie plana. Básicamente, esta técnica consiste en humedecer la hoja, colocarla sobre una superficie plana resistente al agua y aplicar una pequeña cantidad de adhesivo en sus bordes, de manera que el adhesivo cubra aproximadamente medio centímetro de la hoja. Cuando la hoja se seca, lo hace primero por los bordes que quedan pegados al soporte. Al seguir secándose, la hoja se contrae y se tensa, de forma similar a lo que ocurre cuando se preparan los papeles para acuarela. Después, basta con despegar la hoja del soporte, separándola mecánicamente.

El proceso es sencillo en teoría, pero como casi siempre, la práctica impone ciertas limitaciones. En primer lugar, el adhesivo empleado tiene que ser soluble en agua o en líquidos miscibles con el agua, puesto que la hoja debe hallarse humedecida, lo que limita notablemente la posibilidad de elección: en la práctica, se emplean éteres de celulosa o almidones, cuya preparación se describe en el siguiente apartado. En segundo lugar, y una vez terminado el proceso, la unión entre el soporte y la hoja no puede disolverse empleando agua u otros líquidos polares, porque si se moja la hoja ésta volverá a ondularse. Por lo tanto, la hoja debe adherirse al soporte con un adhesivo formulado de manera que permita el despegado mecánico de la hoja por simple tracción o con la ayuda de una espátula, una plegadera u otra herramienta similar (ilustración 10). Lograr esto no siempre es sencillo, porque la adhesión de la hoja viene determinada por muchísimos factores de difícil medición, como su rugosidad, su grado y tipo de encolado o la naturaleza de la base a la que se adhiere. Por ello, y desgraciadamente, no es fácil ofrecer fórmulas de eficacia general. De nuevo, es el restaurador quien a partir de la experiencia debe determinar la formulación más adecuada en cada caso.

Este procedimiento admite numerosas variaciones. Una de ellas consiste en encolar toda la hoja y no sólo sus bordes. Otra variación consis-

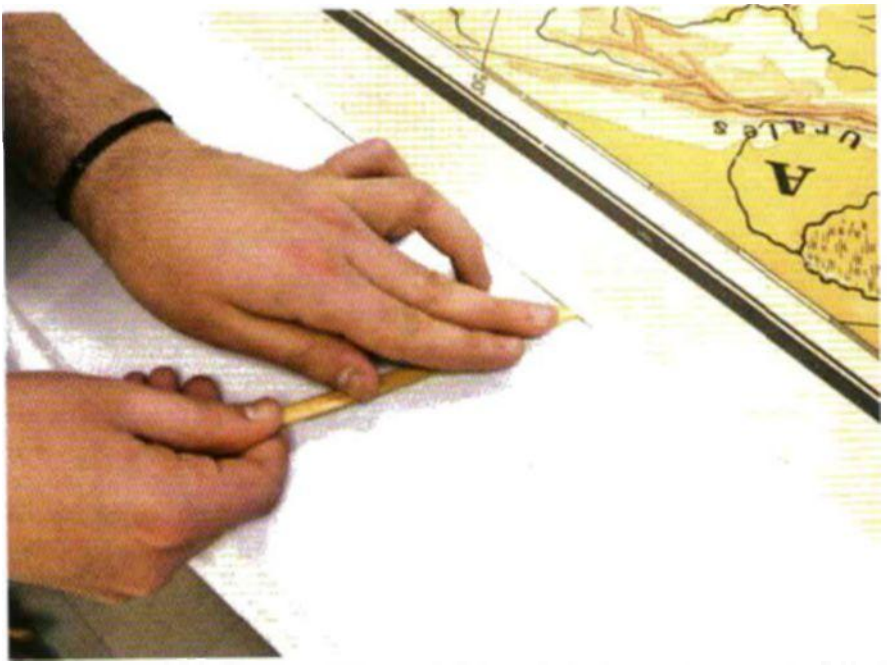


ILUSTRACIÓN 10. En el alisado por tensión, la hoja se encola a la base y, una vez seca, se despega cuidadosamente. En esta imagen se está empleando una espátula de bambú para despegarla.

tente en añadir bandas o refuerzos («falsos márgenes») para mantener la hoja en posición. Las bandas, generalmente de papel japonés arrugado (para permitir la contracción del papel que se está alisando), se fijan a la hoja aplicando una mínima cantidad de adhesivo (el mayor poder adhesivo del almidón puede ser muy útil para esta operación), y cubriendo apenas unos milímetros del margen (ilustración 11); después, se humecta la hoja mediante pulverización, pincel, etc., y se adhieren las bandas (pero no el original) al soporte. De este modo, la hoja queda retenida por las bandas de papel japonés de bajo gramaje, y, al contraer durante el proceso de secado, la hoja se mantiene lisa (ilustración 12). Después, el conjunto se despega de la base por tracción. Las las bandas también se separan del original por tracción, o con una mínima humectación si fuese necesario.

Otra posibilidad, técnicamente más sencilla, es la aplicación de hojas enteras de papel japonés de bajo gramaje (típicamente entre 10-15 gramos) que cubran la totalidad del reverso de la hoja que se desea alisar —es decir, que producen la laminación de la hoja. Esta laminación se hace adhiriendo la hoja de papel japonés (que debe ser al menos unos centímetros mayor que la hoja a alisar) al soporte con el adhesivo acuoso elegido, y colocando sobre él la hoja original, previamente humectada y con el anverso hacia arriba.

ILUSTRACIÓN 11. Los «falsos márgenes» se adhieren a la hoja original mediante una pequeña cantidad de adhesivo, para permitir su despegado posterior mediante tracción y sin dañar la hoja original. La correcta aplicación del adhesivo es, por lo tanto, una operación crucial en esta técnica.

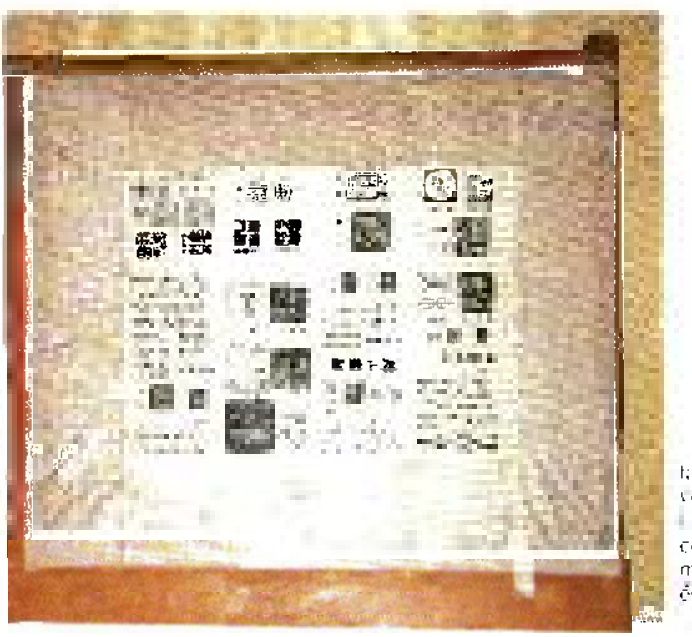


ILUSTRACIÓN 12. Una vez montados los «falsos márgenes» y con la hoja ligeramente humedecida, éstos se adhieren a la base de alisado.

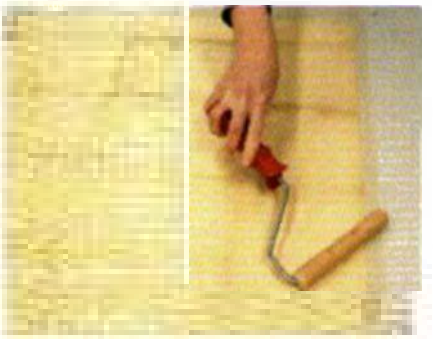
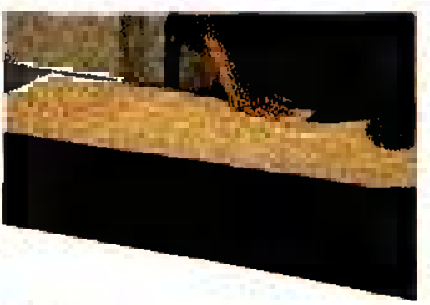


ILUSTRACIÓN 13. Laminación total de una hoja. En este caso, el adhesivo se extiende con la ayuda de un rodillo.

El conjunto se deja secar, y después se retira de la base. También puede colocarse la hoja humectada boca abajo sobre el soporte rígido, aplicando después el papel japonés y el adhesivo sobre ella (ilustración 13).

El papel japonés debería poder retirarse después del proceso, de nuevo por tracción (ilustraciones 14 a 16). Sin embargo, en ocasiones esto puede ser complicado. En muchos casos, puede ser más seguro y eficaz dejar el japonés como refuerzo de la hoja original: si en un futuro se necesita su eliminación, esto podrá hacerse con facilidad si las hojas se han adherido con adhesivos tan reversibles como los éteres de celulosa o (en menor medida) con un almidón. Por otro lado, laminar una cara de la hoja no suele representar ningún problema en el caso de hojas con un lado en blanco, pero en el caso de hojas con elementos gráficos en sus dos caras, sí puede tenerlo: aunque algunos papeles japoneses de bajo gramaje (en torno a 10 g/m^2) producen una lámina semitransparente



ILUSTRACIONES 14-16. Si se formula bien el adhesivo y se aplica correctamente, la lámina de refuerzo se puede retirar por simple tracción. En esta secuencia se observa cómo se retiran las tres láminas de refuerzo con que se había laminado una hoja de formato medio.

ILUSTRACIÓN 17. El *karibari* es un bombo ligero formado por un armazón de madera de cedro japonés y cubierto por varias capas de papel debidamente impermeabilizadas con zumo de kaki fermentado. El resultado es una superficie moderadamente flexible sobre la que es muy cómodo realizar procesos de alisado por tensión. En la imagen se pueden observar tres karibaris tras la aplicación de una mano del zumo de kaki. Cuando seca y con el paso del tiempo, el zumo de kaki se oscurece hasta adquirir la tonalidad oscura característica que se puede observar en las ilustraciones 14, 15 y 16.

cuando se aplican como se ha descrito, no dejan de alterar la apariencia de la hoja, empalideciendo los colores y ocultando la textura original. En estos casos, se debe valorar el impacto visual que el tratamiento puede tener sobre la obra antes de decidir su desarrollo.

Estas técnicas son muy útiles para el alisado de ciertos tipos de hojas, y en especial de las de gran formato. Todas ellas presentan una ventaja importante con respecto a los habituales procesos de alisado por presión: en los procesos de alisado por tensión las hojas secan por evaporación, por lo que el secado se produce en mucho menos tiempo que con otras técnicas. Una hoja típica puede secar en cuatro o seis horas en condiciones ambientales normales, y sin requerir ninguna participación del restaurador. Sin embargo, el secado por tensión no está exento de riesgos. Si la retracción experimentada por la hoja durante el proceso de secado es grande, existe la posibilidad de que se deforme hasta rasgarse —un riesgo que se incrementa notablemente cuando la hoja a alisar presenta puntos débiles localizados (roturas, pliegues, etc.). Esta posibilidad, de gravísimas consecuencias, hace que su aplicación deba ser ponderada meticulosamente. En todo caso, para paliar sus efectos es posible recurrir a ciertas técnicas. Se puede, por ejemplo, supervisar el proceso de forma exhaustiva, para minimizar o impedir los daños antes de que se produzcan, o de

que adquieran mayor importancia. También se puede emplear una base de alisado moderadamente elástica, como por ejemplo un tejido tensado adecuadamente sobre un bastidor, o un *karibari* (el *karibari* es una superficie de alisado tradicionalmente empleada en la fabricación del papel en Ja-

ILUSTRACIÓN 18. Cuando se alisa por tensión, producir juntas adhesivas débiles suele ser una buena opción. Así, si la tensión resulta excesiva, la hoja se despega en lugar de rasgarse.

ILUSTRACIÓN 19. Si en un alisado por tensión se producen juntas adhesivas fuertes, la tensión puede ser excesiva para el papel humedo, produciendo su rasgado como se ve en el lado izquierdo de esta fotografía. Desgraciadamente, hay muchos factores que pueden influir en cada caso: existencia de rasgados, debilidad del papel, grado de encolado, superficie de trabajo, condiciones de temperatura y humedad, etcétera, por lo que, como ocurre a menudo en restauración, y al margen de la propia experiencia, no hay una fórmula magistral que garantice el éxito.

pón, y que también se emplea en restauración del papel; está formada por varias capas de papel de varios tipos cuidadosamente dispuestas y encoladas sobre un bastidor de madera, y posteriormente tratadas con un barniz de jugo de caqui fermentado).

La formulación del adhesivo es también importante. Es muy recomendable realizar formulaciones con baja capacidad adhesiva, porque la consecuencia de una adhesión insuficiente no es otra que el despegado prematuro de la hoja y su consiguiente arrugado: en este caso, lo único que se pierde es tiempo de trabajo, porque el proceso debe repetirse, pero la hoja no resulta dañada (ilustración 18). Sin embargo, si el adhesivo produce una unión excesivamente fuerte, la hoja puede rasgarse (ilustración 19).

5. PREPARACIÓN DE ÉTERES DE CELULOSA Y ALMIDONES

En la restauración del papel se emplean, en la gran mayoría de los casos, dos tipos de adhesivos: los éteres de celulosa y los almidones. Los primeros son compuestos derivados de la celulosa, obtenidos sustituyendo los grupos oxhidrilos de los carbonos 2, 3 y 6 por otros grupos funcionales. Los más habitualmente empleados son la carboximetilcelulosa de sodio (CMC) y la metilcelulosa (MC) Estos compuestos se fabrican en muy diversos grados, aunque el restaurador rara vez recibe información sobre la variedad que se le está suministrando. Afortunadamente, el comportamiento de las variedades que se venden para restauración es bastante homogéneo.

Los éteres de celulosa se presentan en forma de polvo o gránulos de color blanco o levemente amarillento. Se preparan de manera muy sencilla, simplemente disolviéndolos en agua en proporciones que típicamente oscilan entre el 1 y el 4 por 100 (peso/volumen), dependiendo de la viscosidad y fuerza adhesiva requerida. La disolución completa del producto puede demorarse varias horas, porque se forman grumos cuyo interior permanece seco y tardan en humectarse. Por ello, es recomendable realizar la mezcla un día antes de su uso. Si no se dispone de este tiempo, se puede acelerar la disolución mediante agitación mecánica. Una vez preparados, los éteres de celulosa mantienen su adhesividad durante unas semanas. Después, el adhesivo se licua y pierde adhesividad, por lo que periódicamente es conveniente deshacerse del sobrante y preparar una mezcla nueva.

El almidón es una sustancia que se encuentra en los vegetales. Es un compuesto químico muy similar a la celulosa (su fórmula empírica es idéntica), que se comercializa en forma de polvo blanco o en pequeños gránulos. Las variedades más habituales en restauración son el almidón

de trigo y el almidón de arroz, aunque pueden usarse otras variedades sin problemas. El almidón se puede preparar de diversas maneras. La más sencilla consiste simplemente en mezclar aproximadamente 200 gramos de almidón en un litro de agua caliente (60-80 °C), y remover durante veinte o treinta minutos hasta su completa disolución y espesado. El agua debe mantenerse caliente durante todo el proceso, por lo que es habitual el uso de un hornillo eléctrico. Para mejorar la calidad del adhesivo se puede filtrar la pasta resultante a través de un tamiz: se produce así una pasta fina y homogénea de muy cómoda aplicación (ilustración 20). El almidón es un adhesivo más fuerte que la CMC o la MC, y puede mezclarse con agua, aumentando en mucho su fluidez, y manteniendo una adhesividad suficiente. Sin embargo, los almidones se pudren rápidamente en condiciones ambientales normales. Al cabo de tres o cuatro días suele ser necesario la preparación de más almidón. La conservación en nevera o la adición de una pequeña cantidad de un biocida cualquiera (medio gramo de cloruro de benzalconio o timol, un par de gotas de formaldehido, etc.) puede alargar la vida del adhesivo hasta una semana.

Las dextrinas, o almidones precocinados (también llamados *British gums*), son almidones que no necesitan calentamiento: basta mezclarlos con agua para producir una pasta adhesiva. Sin embargo, su calidad es muy inferior a la del almidón propiamente dicho: forman grumos y, en general, producen una pasta que puede resultar de incómoda aplicación, por lo que sólo suelen emplearse para pequeñas reparaciones de emergencia.

Tanto los almidones como la MC y la CMC son materiales relativamente baratos, y completamente inocuos para el restaurador. El almidón

ILUSTRACION 20. Refinado del almidón en un tamiz japonés de crin de caballo. Esta misma operación puede realizarse, de manera algo más incómoda pero igualmente eficaz, con cualquier otro tipo de tamiz. El resultado del sucesivo tamizado del almidón es una pasta muy agradable de manejar, y que además se puede diluir en muchas veces su volumen manteniendo su comportamiento adhesivo.

es bastante reversible, mientras que los éteres de celulosa son extraordinariamente reversibles, lo que representa un ventaja indudable desde el punto de vista ético pero también desde el punto de vista técnico. Los almidones, la CMC y la MC son miscibles entre sí, y con otros adhesivos acuosos como las emulsiones de acetato de polivinilo (las «colas blancas» de uso común en bricolaje). En particular, el poder adhesivo de los éteres de celulosa puede incrementarse mucho simplemente añadiendo una pequeña cantidad (en torno al 2 por 100) de almidón o cola blanca. En estas proporciones, la reversibilidad original del éter no se ve comprometida.

6. TRATAMIENTOS LOCALES

A veces no es necesario alisar toda la hoja, sino tan sólo una parte de ella. Para ello, se siguen básicamente los pasos descritos en el caso del alisado por presión, pero adaptándolo a una zona de la hoja. En este caso, y como norma general, se debe humectar una zona unos pocos centímetros mayor que la zona que se quiere alisar, y se debe aplicar presión en una zona unos centímetros mayor que la zona humectada.

El restaurador tiene que valorar la conveniencia de realizar un tratamiento integral o local. El tratamiento local tiene ciertas ventajas, de gran interés en algunos casos (como por ejemplo cuando se trata alisar una hoja de un libro sin desencuadernarlo), pero tampoco está exento de problemas de índole práctica, porque la humectación y la aplicación de la presión es a veces más complicada que en el caso de hojas completas.

Cuando la hoja es de gran tamaño, el restaurador puede también estimar la conveniencia de alisar varias partes de la hoja sucesivamente. Esta operación es técnicamente viable, aunque suele ser muy complicada, porque la alteración del tamaño de las zonas alisadas de la hoja respecto a las zonas no alisadas puede provocar nuevas ondulaciones del papel en las zonas liminares, a veces muy acusadas.

En ocasiones, la hoja que se desea alisar ha sido gofrada, esto es, marcada con ciertos relieves producidos voluntariamente. Esto es típico de ciertos documentos antiguos, o de algunos grabados modernos. En estos casos, el alisado debe realizarse con secantes troquelados en las zonas en relieve. En resumen, se trata de formar un conjunto de secantes que someta a presión a la hoja sólo en las zonas lisas. Esta técnica a menudo supone una cierta deformación del gofrado, tanto mayor cuanto mayor es la superficie no sometida a presión; sin embargo, esta deformación suele ser inapreciable si el gofrado no es excesivamente grande (superior a aproximadamente cinco o diez centímetros de diámetro, en función del tipo de papel).

Si en cambio el gofrado es grande, la única solución consiste en reproducir un positivo y un negativo del relieve que se desea producir «tallando» hojas de papel secante, hasta donde sea posible. Este es un trabajo tedioso y complejo, y de resultados inciertos, cuya aplicación debe valorarse cuidadosamente.

Sin embargo, el ejemplo más frecuente de relieve en hojas de papel son las marcas que las planchas calcográficas dejan alrededor de la imagen impresa propiamente dicha. En estos casos, si se desea mantener la marca de la plancha, lo más habitual es fijar la hoja mediante tres hojas de secante de grosor adecuado, recortando la hoja para producir un positivo y un negativo del grabado que se desea alisar. Aún así, si el grabado es grande pueden presentarse problemas importantes por la variación de tamaño de la hoja durante el secado.

7. PROBLEMAS DE LOS PROCESOS DE ALISADO

En general, el alisado puede considerarse como un proceso sencillo. Los riesgos para la obra son en general escasos, mientras que los resultados son notables desde un punto de vista estético. Sin embargo, es necesario tener presente que el alisado también presenta desventajas. Las más notables son la alteración del tamaño y textura originales. Las hojas sometidas a humectación experimentan una dilatación a causa del intercalado de las moléculas de agua entre las moléculas de celulosa, que modifica las dimensiones de la hoja. Esta modificación depende de numerosos factores, de entre los cuales los más relevantes son el tipo de papel y la forma de humectación. En el caso de papeles cuyas fibras están principalmente orientadas en un sentido (papeles fourdrinier y muchos papeles artesanales japoneses), la variación es siempre mayor en un sentido de la hoja que en otro. Esto ocurre así porque al ser humectadas, las fibras aumentan su grosor pero no su longitud. Cuando las fibras de una hoja están mayoritariamente orientadas en una dirección, el crecimiento de la hoja es mayor en sentido perpendicular a ellas. Por lo tanto, estas hojas tienen en realidad dos porcentajes de crecimiento, según se midan las variaciones que se producen en un sentido u otro. En cualquier caso, la variación es relativamente pequeña: habitualmente, una hoja mojada experimenta una dilatación que oscila entre el 0,5 y el 1,5 por 100 en su dimensión más higroexpansiva. Sin embargo, en en el caso de hojas poco encoladas con alto porcentaje de hemicelulosas la variación puede llegar a alcanzar el 3 ó 4 por 100, mientras que en el caso de papeles vegetales o sulfurizados, la variación típica oscila entre el 6 y el 12 por 100.

La higroexpansividad del papel plantea varios problemas técnicos. Por ejemplo, y en el caso que nos ocupa, al fijar la hoja en estado dilatado, el restaurador impide su retracción, de forma que al final del proceso las dimensiones de la hoja son normalmente distintas de las que tenía al principio.

Afortunadamente, en la mayor parte de los casos, esta alteración es muy poco significativa. Como en la práctica casi siempre resulta inapreciable, normalmente es considerada como un problema aceptable (o sencillamente ignorada). Sin embargo, esa variación es proporcional al tamaño de las hojas, por lo que en el caso de hojas de gran tamaño el problema se incrementa. También puede hacerse patente en el caso de planos a escala, de hojas de tamaño normalizado, de grabados de una misma serie, etc. Este problema es aún más grave en el caso de objetos formados por varias hojas de papel encoladas entre sí (como es habitual en carteles o mapas de gran formato) o yuxtapuestas (como en el caso de los libros). En estos casos, esa alteración puede resultar muy desagradable, al hacer que unas hojas sobresalgan del cuerpo del libro, o que las líneas de un mapa no coincidan entre sí. Por ello, es necesario ser conscientes de la existencia del problema, saber estimar su probable intensidad, y tenerlo presente a la hora de evaluar la oportunidad del alisado de una hoja.

Someter a presión la hoja humedecida implica también que al menos una cara de la hoja (y en la gran mayoría de los casos, las dos caras) estarán en contacto con un material ajeno al original durante el alisado. Las hojas de secante o de tejido no tejido incidirán sobre el original con una fuerza que puede llegar a ser muy alta, aplastándola. Esto puede causar un adelgazamiento efectivo de la hoja: una nueva variación dimensional, que, de nuevo, suele resultar imperceptible. Sin embargo, la textura original también puede resultar alterada a consecuencia del aplastamiento, a veces de forma muy notable. Para evitar esta consecuencia, y como regla general, se debe emplear un tejido no tejido con una textura similar a la de la hoja, aplicando la mínima presión necesaria. Calcular esta presión es una cuestión de experiencia, basada generalmente en procesos (no siempre voluntarios) de prueba y error. En este sentido, es importante señalar que cada restaurador desarrolla un conocimiento particular, útil para un determinado tipo de circunstancias (un determinado sistema de presión, un tipo determinado de humectación, un tipo determinado de secantes), de muy difícil generalización.

Las técnicas de alisado producen resultados muy llamativos (ilustraciones 21 y 22). Normalmente, el público espera que una hoja nueva esté perfectamente lisa, de modo que alisar una hoja que antes estaba arrugada produce una poderosa impresión positiva. Sin embargo, como hemos visto, el alisado también implica riesgos y desventajas. Por ello, las operaciones de alisado, que en realidad tienen un carácter exclusivamente estético,

no deben ser desarrolladas a ultranza. Como en todos los casos, el restaurador debe conocer y valorar los riesgos reales del proceso en cada circunstancia, y saber que la mejor operación de alisado a veces puede llegar a ser la que no se ha hecho.

ILUSTRACIONES 21-22. El *alisado* de una hoja tiene indudables beneficios estéticos para la mayor parte de los espectadores contemporáneos, como en el caso de esta litografía coloreada. Sin embargo, para lograr estos beneficios hay que correr ciertos riesgos y asumir que estos procedimientos introducen alteraciones, como una ligera variación en el tamaño de las hojas. Aunque el alisado de las hojas se haya convertido en un procedimiento casi rutinario, no se debe perder de vista que los procedimientos de trabajo no son, ni mucho menos, perfectos.

CAPÍTULO 11

REPARACIÓN DE DESGARROS. REINTEGRACIONES

1. LA RESTAURACIÓN DE CORTES Y RASGADOS

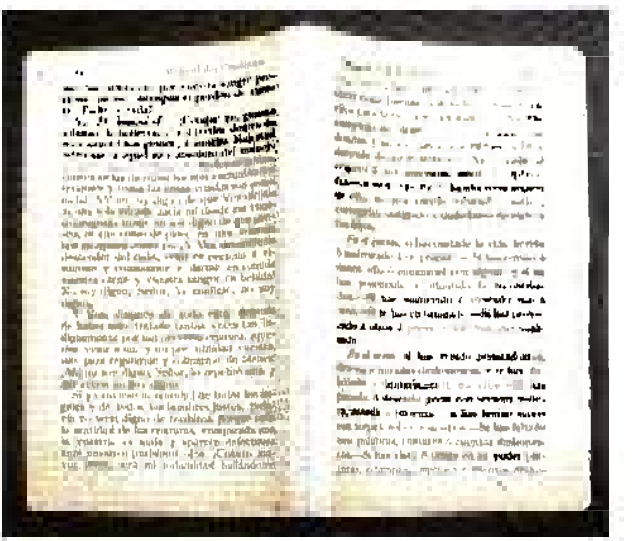
Los desgarros y cortes son uno de los problemas más habituales en el campo de la conservación y restauración del papel. Cuando un papel es sometido a fuerzas opuestas, responde deformándose ligeramente; si la tensión continúa, se produce un desgarro o rotura: las fibras se separan unas de otras, o se rompen siguiendo la trayectoria menos resistente. Ello produce una superficie de rotura irregular y ligeramente deformada. Si por el contrario, un filo secciona las fibras limpiamente, se produce un corte.

Reparar un rasgado es, en principio, muy sencillo, porque basta con aplicar adhesivo en la zona de contacto y dejarlo secar. Sin embargo, existen factores que pueden hacer más compleja esta operación. Por ejemplo:

- la superficie de contacto disponible puede ser muy pequeña;
- la deformación del papel previa a la rotura puede hacer que ambas partes no se ajusten de forma perfecta; y
- el adhesivo puede resultar de difícil aplicación, y/o producir juntas insuficientemente resistentes, o visualmente desagradables.

Reparar un corte es algo más complejo. Un papel común tiene un grosor de una o dos décimas de milímetro. Si el papel ha sido cortado limpiamente, la superficie de contacto es realmente pequeña. Por ejemplo, la cara del corte de una hoja típica de 80 g/m^2 de tamaño DIN A4 que ha sido cortada de arriba abajo, puede presentar una superficie de contacto de aproximadamente 0,3 cm^2. Además, esas superficies de sólo 0,3 cm^2 no son perfectamente planas, ni encajan perfectamente entre sí por la deformación experimentada durante el corte y por otros factores, por lo que la superficie de contacto real es mucho más pequeña. Por todo ello, adherir entre sí las dos caras del corte de un papel produce a menudo una unión extremadamente débil, insuficiente para cualquier manipulación. En estos casos, el restaurador habitualmente emplea una lámina de refuerzo que

une ambas partes del rasgado. Esta lámina permite aumentar en mucho la superficie de unión, a costa de sacrificar el aspecto final de la restauración. Por supuesto, estos refuerzos no sólo se aplican cuando se restauran cortes, sino también en el caso de rasgados o roturas que así lo requieran por producir una unión adhesiva excesivamente débil, o, en general, en cualquier caso en que el restaurador lo juzgue necesario (ilustración 1).



ILUSTRACION 1. Aplicación de refuerzo en el pliegue de una hoja de libro. Las hojas de libro suelen incluir cuatro páginas y, muy a menudo, se debilitan en la zona del pliegue central. Por ello, cuando se restautan libros es habitual reforzar esta zona. En la imagen se observa un refuerzo local con papel japonés de bajo gramaje que también se ha empleado para cubrir un faltante y reducir el peligro de desgarro.

Habitualmente, los refuerzos son de papel japonés, de un gramaje tan bajo como sea posible para lograr su objetivo eficazmente. En el caso de hojas de gramaje bajo o medio (no superior a aproximadamente 100 g/m^2) suelen emplearse papeles japoneses de entre 5 y 10 g/m^2. El tamaño del refuerzo se guía por este mismo principio. En general, el refuerzo, que puede estar formado por más de una pieza, debe extenderse entre dos y cinco milímetros a cada lado del rasgado, siguiendo la forma de éste. Si, como ocurre a menudo, el papel japonés tiene un sentido preferente de orientación de las fibras, éste debe ser perpendicular al rasgado —de otro modo, su eficacia mecánica podría ser muy escasa.

La rugosidad del papel de refuerzo también juega un papel importante para producir resultados poco visibles, aunque este factor sea más difícilmente controlable por el restaurador. Una técnica útil en este sentido consiste en *rasgar* las piezas de refuerzo mediante el corte al agua. Así se obtienen piezas con bordes irregulares, que ofrecen una transición visual más suave entre el refuerzo y el fondo de la hoja original. Para lograrlo se puede humedecer la hoja de papel japonés siguiendo la forma que se desee; de esta manera el refuerzo se rasgará fácilmente siguiendo la línea húmeda (ilustraciones 2 a 5).

En la práctica cotidiana, la forma habitual de adherir dos papeles consiste en aplicar el adhesivo sobre uno de ellos, y después colocar el otro sobre él. En nuestro caso trabajamos con papeles de muy bajo gramaje y gran porosidad, por lo que suele resultar más eficaz aplicar el adhesivo a través del papel japonés. Por este procedimiento, el papel de refuerzo se coloca directamente en la posición deseada, y después se aplica el adhesivo, que penetra a través del papel japonés, impregnándolo hasta llegar al documento original.

Esta operación es simple, pero no está exenta de problemas. Un exceso de adhesivo produce zonas brillantes sobre el refuerzo, y lo que es peor, puede producirlas también sobre la hoja original si llega a rebasar la

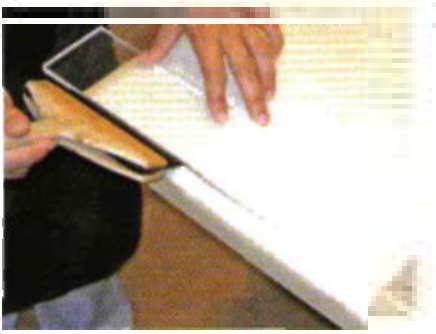


ILUSTRACIÓN 2. Corte al agua del papel japonés. El japonés no suele cortarse con tijeras, para hacerlo menos perceptible y mejorar su resistencia en aplicaciones locales. Este tipo de corte se conoce como «corte al agua» porque, como se ve en la fotografía, la línea de corte se humedece antes del rasgado.

ILUSTRACIÓN 3. El papel japonés se debilita mucho en la zona humedecida, lo que hace sencilla su separación, incluso cuando se trata de varias hojas a la vez.

ILUSTRACIÓN 4. El corte del papel por rasgado también puede hacerse en el caso de piezas con formas curvas e irregulares. En estos casos, la forma de la pieza se «dibuja» con agua en el papel.

ILUSTRACIÓN 5. Después, el papel se puede rasgar muy fácilmente siguiendo la forma deseada.

zona de refuerzo. Pero si no se aplica suficiente adhesivo, el refuerzo resultará muy opaco. Sin embargo, si se aplica correctamente, un refuerzo de papel japonés de entre 10 y 15 g/m² resulta tenuemente perceptible en los casos que podríamos considerar típicos.

Como adhesivo se suele emplear éteres de celulosa (carboximetilcelulosa de sodio o metilcelulosa), almidones o dextrinas, preparados tal y como se ha descrito en el capítulo anterior. Puesto que estos compuestos se disuelven en agua, la aplicación del adhesivo supone también la aportación de agua a la hoja. Esto tiene dos consecuencias primordiales: la humectación localizada y la (posible) disolución de los elementos solubles que haya presentes en la zona del rasgado.

La humectación de la hoja en la zona del rasgado hace que el papel se dilate en esa zona, provocando arrugas más o menos notables, que pueden hacer necesario el alisado posterior de la hoja. La disolución local de los elementos gráficos (o de otros compuestos presentes en el papel, como los productos de degradación que producen su amarilleo, si la hoja no se ha bañado previamente) puede además provocar cercos estéticamente desgradables. Para paliar ambos problemas se puede aplicar calor y presión suaves y localizados, que aceleren la evaporación del agua antes de que pueda llegar a disolver algunos de los materiales presentes. Esto también contribuye a mantener el papel liso, evitando su arrugado. Para ello, se puede aplicar una espátula caliente sobre un tejido no tejido dispuesto sobre la zona humectada. Sin embargo, las altas temperaturas pueden causar ondulaciones debidas a una evaporación excesiva en esa zona, por lo que este recurso debe aplicarse con moderación, moviendo continuamente la espátula y manteniendo su temperatura tan baja como se pueda sin llegar a mermar su eficacia (ilustraciones 6 a 8).

ILUSTRACIÓN 6. Durante el proceso de restauración de la perforación de este grabado se repararon también los rasgados radiales que acompañaban a la perforación. En esta imagen, la restauradora está llevando un fragmento de papel con adhesivo en la posición correcta.

ILUSTRACIÓN 7. En esta imagen se está aplicando una espátula caliente para acelerar el secado del adhesivo.

ILUSTRACIÓN 8. Al final del proceso, todos los rasgados están reparados, aunque aún falta resolver la perforación.

Los refuerzos pueden aplicarse sobre cualquier lado de la hoja. Desde un punto de vista meramente material, la aplicación a ambos lados de la hoja proporciona los mejores resultados. Sin embargo, a menudo basta con aplicar el refuerzo en un solo lado. Cuando la hoja sólo ha sido manuscrita (o impresa, o dibujada) por un lado, se suele adherir por el otro. Cuando ambos lados tienen interés, la elección puede ser más delicada, y en ella intervendrán diversos factores. Por ejemplo, el rasgado puede atravesar zonas oscuras, sobre las cuales el refuerzo puede ser más perceptible; o zonas con elementos potencialmente solubles; o zonas de especial relevancia estética, etc. Como en casi todos los casos, el restaurador debe evaluar los beneficios y perjuicios potenciales y reales de la aplicación en uno u otro lado, para poder tomar la decisión más acertada.

La función primordial de los refuerzos locales es incrementar la resistencia de la junta adhesiva. A la hora de juzgar su oportunidad, el restaurador debe tener presente dos consideraciones básicas:

1. Las exigencias a las que va a estar sometida la junta. Éstas pueden ser escasas (como por ejemplo, cuando la obra va a permanecer expuesta sin ser manipulada) o intensas (como cuando la obra va a ser objeto de consulta y manipulación directa).

2. La superficie de contacto entre las partes a unir. El tamaño de esta superficie determina en buena medida la fuerza de la junta adhesiva resultante, y puede variar mucho. Así, los cortes limpios, como los realizados con tijeras, presentan una superficie de contacto muy pequeña, y casi siempre requieren la adición de refuerzos locales. Por el contrario, los desgarros que se producen oblicuamente a la superficie del papel suelen presentar una gran superficie de contacto, por lo que la simple aplicación de adhesivo sin refuerzo adicional puede bastar para producir una junta adhesiva suficientemente fuerte.

Lógicamente, en la realidad ambas circunstancias se pueden producir simultáneamente, por lo que es el restaurador quien, basándose en su experiencia, debe decidir si aplicar refuerzos o no, o si aplicarlo parcialmente, y en qué zonas del rasgado. Si decide no añadir láminas de refuerzo debe aplicar el adhesivo en la superficie de contacto y unirlas correctamente alineadas una sobre la otra. Por lo demás, las precauciones que debe tener en estos casos son similares a las descritas hasta ahora.

En todos los casos, la alineación correcta de las partes del rasgado es imprescindible para producir una buena restauración. Una alineación incorrecta producirá irregularidades visibles y juntas débiles. El uso de un negatoscopio o mesa de luz es muy útil a estos efectos. En todo caso, es necesario tener en cuenta que en ocasiones la deformación previa a la rotura de las superficies a unir impide su ajuste limpio.

En muchas ocasiones también las deformaciones posteriores al rasgado originan problemas de ajuste: la humectación de una de las partes, el roce de sus bordes, o su degradación química, pueden causar pequeñas distorsiones de las partes a unir que impidan un encaje perfecto. A veces, los problemas derivados de la deformación de las partes pueden solucionarse humectando y secando zonas concretas del papel, produciendo así una deformación controlada que permita el ajuste correcto —o al menos, un mejor ajuste. Otra solución a este problema consiste en usar adhesivos no acuosos, como el Paraloid B-72, la Beva 371 o el Unsupported Archibond. Estos adhesivos son solubles en disolventes orgánicos y termofusibles, y se pueden aplicar tanto en disolución como fundiéndolos sobre la hoja con una espátula caliente u otro instrumento similar, como se describe más adelante en el capítulo 13. Sin embargo, existen ciertos problemas prácticos y éticos (su reversibilidad es comparativamente baja) por los que sólo suelen emplearse en circunstancias excepcionales —típicamente, cuando hay tintas o pinturas solubles en agua que podrían verse afectadas.

Por otro lado, existen en el mercado cintas autoadhesivas para la realización de pequeños refuerzos locales en trabajos de conservación, que pueden evitar estos problemas. Estas cintas son esencialmente similares a las cintas comerciales normales. Sin embargo, el material del que está hecho la cinta no suele ser una lámina de plástico, sino papel o un material similar al Reemay; además, el adhesivo empleado es teóricamente estable, por lo que no debieran producir los problemas de migración de disolventes característicos de las cintas de uso corriente. Estas cintas son muy cómodas de aplicar, pero la resistencia de la junta adhesiva producida es muy escasa, lo que limita su utilidad práctica. Su estabilidad real también ha sido cuestionada, por lo que su uso debe limitarse en la medida de lo posible.

2. REINTEGRACIÓN DE FALTANTES POR ADICIÓN DE PAPEL

Cuando se pierde un fragmento de una hoja hablamos de faltante. Cuando se enfrenta a un faltante, el restaurador tiene dos opciones, en principio muy sencillas: añadir papel en el faltante o formar papel en el faltante.

La adición de papel en el faltante consiste sencillamente en recortar (tallar no sería una expresión exagerada) un fragmento de papel que se ajuste, en la medida de lo posible, a la forma del faltante, pero también a su aspecto (color, grosor, textura).

ILUSTRACIÓN 9. Un detalle de un faltante en el manuscrito que aparece en la figura 11 del capítulo 8.

ILUSTRACIÓN 10. El faltante, después de la realización de un injerto manual

ILUSTRACIÓN 11. Los injertos manuales suelen emplearse para tratar faltantes de pequeño tamaño. Sin embargo, la técnica es perfectamente aplicable a grandes faltantes, como se ve en la fotografía.

Si el papel se recorta con un tamaño ligeramente mayor al faltante, la tarea se simplifica notablemente, porque se puede adherir muy cómodamente: hablamos entonces de «injerto solapado». Este procedimiento es especialmente adecuado para hojas con un lado prevalente (el injerto se solapa por la cara menos importante). Sin embargo, los resultados estéticos no siempre son satisfactorios. Para mejorarlos, se puede rebajar el injerto in situ, rebajando el exceso de papel con un bisturí.

Hay otras formas más elegantes, pero también más laboriosas, de realizar un injerto, ajustándolo al faltante. Esto se puede hacer de dos maneras fundamentales: calcando la forma del faltante con la ayuda del negatoscopio, recortándolo o troquelándolo, y adhiriéndolo posteriormente a la hoja original; es decir, ajustándolo previamente a su aplicación, o biselando muy moderadamente los bordes del faltante original, adhiriendo después papel del injerto de tamaño superior al faltante y recortando luego el exceso de papel del injerto, ajustándolo in situ.

En realidad, estas dos opciones no son totalmente excluyentes. En todos los casos, los injertos pueden ajustarse, afinarse o retocarse, una vez adheridos. Cada tipo de papel, cada tipo de faltante, hace recomendable el empleo de un sistema u otro, o, más frecuentemente, de una combinación de ambos en unas proporciones u otras. Como se puede imaginar, la realización de piezas para injertos exige gran precisión y paciencia. Si se hace correctamente y con una buena selección y preparación del papel de injerto, la reintegración de faltantes puede ser una de las operaciones más llamativas de la conservación y restauración del papel: un injerto puede llegar a ser casi imperceptible en condiciones normales de observación, y éste es a menudo el objetivo de los restauradores.

Para lograrlo, es muy importante el empleo de papeles de injerto similares al original. Esto se puede lograr por cualquier medio disponible: el papel para injertos puede teñirse, pintarse, encolarse, bruñirse, etc., para adaptarlo a nuestras necesidades: puesto que es una hoja añadida, es legítimo alterarlo a voluntad. Sin embargo, hay factores, como el gramaje o la verjura, que son de muy difícil imitación. En un taller de conservación y restauración del papel, por lo tanto, es muy importante conservar una amplia gama de todo tipo de papeles. Éstos pueden tener orígenes muy diversos: descartes de operaciones anteriores, libros o documentos sin valor, de hojas nuevas con características adecuadas, etc.

El restaurador debe tener presente que no siempre es posible conseguir un injerto perfectamente invisible. En general, los papeles más porosos e irregulares son más fáciles de imitar que los más finos y homogéneos. Un papel fourdrinier, por ejemplo, suele ser mucho más difícil de reintegrar de manera imperceptible que un documento del siglo XVIII, que está hecho con un papel comparativamente mucho más rugoso y con fi-

bras más largas y menos compactadas. Por un motivo similar, los faltantes en zonas limpias (sin elementos gráficos o con elementos gráficos planos) son más difíciles de reintegrar imperceptiblemente que aquellos que se hallan zonas con elementos gráficos variados.

La adhesión del injerto en el faltante se guía por principios similares a los descritos arriba para los rasgados, con adhesivos similares y con similares problemas. Así, si hay problemas de adhesión y no se desea biselar los bordes del faltante, se puede también recurrir al empleo de refuerzos localizados.

Cuando se añade un injerto, es necesario tener presente su conservación futura. En especial, es necesario tener presente dos factores:

1. Composición del papel. El injerto está sujeto a los mismos procesos de envejecimiento y deterioro que cualquier otro papel. Por lo tanto, su durabilidad debe ser la mejor posible. Esto implica seleccionar cuidadosamente el tipo de papel empleado, e incluso someterlo también a un proceso de desacidificación si las circunstancias así lo aconsejan (por ejemplo, si el papel del injerto es poco duradero). En particular, se debe evitar el empleo de papeles con lignina. Si el injerto está compuesto por un papel muy lignificado, es probable que experimente un rápido proceso de amarilleo que lo haga fácilmente perceptible a simple vista, arruinando así en muy poco tiempo un trabajo por otro lado impecable.
2. Orientación de las fibras. Si en el injerto empleamos un papel fourdrinier, su comportamiento ante las variaciones de humedad será anisotrópico. Esto puede llegar a tener efectos muy negativos, tanto de tipo estético (producción de ondulaciones y arrugas) como estructurales (rotura de juntas adhesivas). Estas consecuencias son más graves cuanto mayor es el tamaño del injerto. Para paliarlas, es muy recomendable emplear papeles de tipo similar (papeles fourdrinier para injertar papeles fourdrinier, y papeles manuales para injertar papeles manuales); y cuando la hoja restaurada sea de papel industrial es también muy aconsejable alinear el sentido de las fibras de las hojas originales y de los injertos.

3. REINTEGRACIÓN DE FALTANTES POR FORMACIÓN DE PAPEL

3.1. La reintegración por formación de papel. Procesos manuales

Otra técnica para realizar injertos consiste en «formar» papel en el interior del faltante. Como todo proceso de fabricación del papel implica dos etapas:

1. Obtención de la pulpa.
2. Formación del papel.

La pulpa puede obtenerse por cualquier proceso que proporcione una pasta adecuada para la producción del papel. En el caso de pequeños faltantes, esto puede hacerse con medios sencillos de disgregación mecánica (como por ejemplo, una batidora doméstica). La pulpa puede prepararse a partir de papeles de estabilidad mínimamente aceptable. Hay muchos papeles de uso habitual que cumplen esta condición, pero también se comercializa pulpa para su uso en conservación y restauración, aunque en estos casos su apariencia es la un cartón tosco. La ventaja de estas pulpas es que se conoce perfectamente su composición, y que al carecer por completo de encolado su disgregación resulta especialmente sencilla.

Al preparar la pulpa para las reintegraciones es necesario tener presente diversos factores. Entre ellos podemos destacar el color, la pureza química y el tamaño de las fibras.

El color, como resulta obvio, juega un papel muy importante para producir acabados adecuados a las necesidades del restaurador. Para ello, la mejor solución es encontrar una pulpa del color deseado. Si, como es frecuente, ello no fuera posible, se puede mezclar pulpas de distintos colores en las proporciones adecuadas, o teñir la pulpa por medio de cualquier tinte, industrial o natural (te, café, manzanilla, etc.), hasta producir el tono perseguido; la estabilidad cromática del tinte es en teoría un factor importante a la hora de seleccionarlo, pero en la práctica esta consideración demasiado a menudo adquiere un carácter secundario porque sencillamente no suelen existir muchas opciones a disposición del restaurador.

Esta operación nunca resulta tan sencilla como puede parecer, porque el tono de la pulpa húmeda no es el que tendrá el papel una vez terminado y seco. Obtener el tono deseado puede requerir mucha destreza y/o una larga serie de pruebas previas. La tinción de la pulpa se realiza con tintes solubles en agua. Éstos pueden ser sintéticos pero también de origen natural: las infusiones de café, té, manzanilla, etc., son muy asequibles y ofrecen buenos resultados cuando se trabaja a pequeña escala. La pulpa se sumerge en el tinte convenientemente disuelto hasta que adquiere suficiente coloración; entonces, se saca de la solución y se escurre repetidamente en agua hasta que deja de desteñir totalmente. Este paso es muy importante, para evitar que la pulpa pueda llegar a manchar el documento, destiñendo después de que ha sido aplicada. Se comprueba entonces que el color es el deseado; en caso contrario, se repite el proceso. Desgraciadamente, no es posible ofrecer recetas, porque cada tinte funciona de una manera peculiar en función de numerosas variables: tipo de tinte, concentración, temperatura de la solución, tiempo de inmersión, tipo de fibra, grado de encolado, etc.

La pureza química de la pulpa determinará su estabilidad. En realidad, la estabilidad de un injerto no es tan crítica como la del original, pero no por ello puede ignorarse si se desea hacer un trabajo duradero y de calidad.

El tamaño medio de las fibras y la presión ejercida durante el secado y a posteriori determinan la textura del papel resultante, y, en buena medida, también sus resistencias mecánicas. En general, puede afirmarse que los papeles con fibras largas tienen mejores resistencias mecánicas que los fabricados con fibras cortas; sin embargo, estos últimos producen papeles con una textura más suave y homogénea, y son de aplicación mucho más sencilla. Por supuesto, es posible mezclar ambos tipos de fibras (una práctica muy habitual en la industria papelera contemporánea). En todo caso, es tarea del restaurador equilibrar ambos factores en función de las necesidades de cada hoja.

Una vez preparada la pulpa, se debe formar el papel en el interior del faltante. Esto se puede hacer por diversos sistemas. El más sencillo de ellos consiste en colocar la hoja original sobre una superficie porosa que actuará como tamiz de la forma (un Reemay es una buena elección), que a su vez se coloca sobre una superficie absorbente. Después, la pulpa se aplica manualmente. La aplicación puede hacerse en pasta con una espátula u otra herramienta similar, o mediante un cuentagotas si está suficientemente líquida y el faltante es muy pequeño, o incluso vertiéndola directamente de un recipiente (ilustraciones 12 y 13).

ILUSTRACIÓN 12. Macrofotografía de una perforación en una pintura sobre cartón

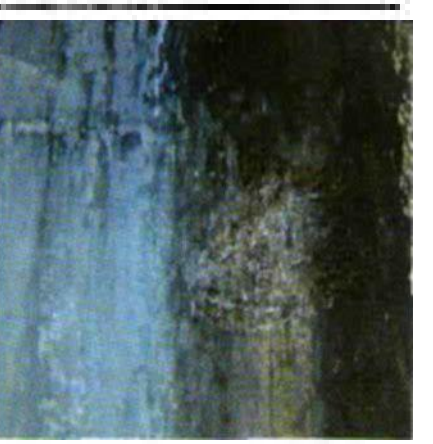


ILUSTRACIÓN 13. La perforación se ha reintegrado manualmente con pasta de papel, y se ha retocado cromáticamente como se ve en esta fotografía. En condiciones normales de observación el resultado es imperceptible.

Cuando se aplica este sistema de reintegración con pulpas muy fluidas, la hoja debe estar perfectamente lisa y en contacto con el tamiz. De otra forma, la pulpa se deposita entre el tamiz y la hoja, y no propiamente en el interior del faltante. Para lograrlo es posible emplear pequeños pesos en torno al faltante o, cuando ello sea posible, humedecer toda la hoja.

Habitualmente, la aplicación es muy sencilla, porque el agua, y con ella la pulpa, tienden a escurrirse por las zonas donde no hay papel; por así decirlo, la propia absorbencia del tamiz distribuye la pulpa en las zonas en las que se necesita. Para garantizar esa absorbencia, el tamiz con la hoja puede colocarse sobre una hoja de papel secante (que se desplaza o sustituye cuando se satura de agua). Este procedimiento tiene la ventaja de no requerir ninguna herramienta sofisticada, pero, por el contrario, es incómodo y resulta difícil producir injertos satisfactorios excepto en faltantes muy pequeños, como los causados por larvas de insectos. El empleo de un disco o mesa de succión es extremadamente aconsejable para el desarrollo de este procedimiento, y es un requisito casi ineludible para la reintegración de injertos de tamaño medio o grande (aproximadamente superiores a un centímetro cuadrado).

Cuando el papel formado alcanza el grosor adecuado (generalmente algo superior al del papel que se está restaurando), la operación se detiene; entonces se deja secar el conjunto, si es posible bajo presión (para incrementar la lisura y densidad del injerto). Finalmente, cuando el conjunto seca, el restaurador debe comprobar el resultado final. Habitualmente, el grosor del papel injertado disminuye tras el secado, adquiere un tono más claro y menos saturado que cuando estaba húmedo, y la superficie resulta más rugosa que cuando estaba húmeda. El bruñido del injerto ya seco con una piedra de ágata u otra herramienta con una superficie suficientemente lisa, suaviza notablemente la textura resultante, aunque, debido al carácter manual de esta operación, en injertos de tamaño medio y grande es muy difícil llegar producir una superficie homogénea. Además, las juntas, producidas exclusivamente por formación de puentes de hidrógeno, pueden no ser muy sólidas. Cuando el resultado no es satisfactorio, es necesario resolver el problema por los métodos descritos en otros apartados: coloreando el injerto, recortando, bruñiendo, alisando, añadiendo adhesivo, añadiendo refuerzos... o simplemente, eliminando el injerto y repitiendo el proceso.

Esta técnica de reintegración supone una gran aportación de agua en los bordes del faltante, que se desplaza por capilaridad hacia el resto de la hoja, por lo que, para evitar deformaciones durante el proceso, puede ser útil la humectación previa de todo el papel. Por este mismo motivo, el uso de esta técnica en obras en las que estén presentes elementos solubles exige cierta delicadeza, sobre todo si estos elementos están próximos al faltante.

3.2. La reintegración por formación de papel. Procesos mecánicos

El principio que anima las técnicas manuales de reintegración por formación del papel (el agua con la pulpa fluye por donde encuentra menos resistencia, esto es, por los faltantes) puede aplicarse también a hojas su-

Ilustración 14. Resultado de una reintegración mecánica de faltantes en un grabado contemporáneo, antes del recortado de los bordes. La reintegración se ha realizado con pulpa de un color diferente al del papel, lo que permite distinguir los añadidos y el original.

ILUSTRACIÓN 15. Detalle de una de las zonas reintegradas mecánicamente del grabado de la ilustración 14. La iluminación semirrasante permite observar el perfecto ajuste entre la hoja y el injerto, aunque también hace más visible la diferencia entre las texturas del papel original y el formado en la reintegradora mecánica.

mergidas en pulpas muy fluidas, lo que ha permitido el desarrollo de máquinas para la reintegración del papel. En este caso, la mano del restaurador no interviene en la distribución de la pulpa sobre el tamiz, sino que ésta es enteramente realizada por el agua que fluye homogéneamente a través del faltante. El resultado es un injerto más liso y homogéneo que si se hace a mano, y lo que aún es más importante, mucho más rápido.

Los procesos de reintegración mecánica se iniciaron en la década de los 50 del siglo XX en la Unión Soviética. Allí se desarrollaron diversos modelos de la serie ROM, que funcionaban haciendo fluir el agua mediante una bomba de succión. Esta idea se expandió lentamente por los países de influencia soviética, pero no llegó a Europa occidental hasta 1967, cuando se publicaron en un congreso de la IADA celebrado en la República Federal de Alemania, donde el checo Vyskocil y la búlgara Alkalay describieron someramente el principio de la reintegración mecánica. A partir de aquí, se desarrollaron diversas variantes de reintegradoras mecánicas, cada una de las cuales presentaba características distintas a las demás (ilustración 16). La que Ries desarrolló en Zurich, por ejemplo, funcionaba sin bomba de succión, y el agua caía por gravedad a través de los faltantes. La de Trobas, en Alemania, tenía un tamiz móvil, que se podía mover como cuando se forma papel manualmente. Uno de los diseños más exitosos fue el modelo *Recurator*, diseñada por Alkalay tras emigrar a Israel, y que en los años 70 se comercializó con relativo éxito. Otros aparatos similares fueron diseñados por Lorenzen, Haupt o Laursen. En España, en esta misma época, Vicente Viñas desarrolló de manera independiente el que probablemente es, aún hoy día, el modelo más eficaz de reintegradora mecánica, la *Vinyector*. La *Vinyector* se caracteriza por la automatización de los procesos de llenado y vaciado de la cubeta y los depósitos, y porque su bandeja es cómodamente extraíble, lo que facilita no-

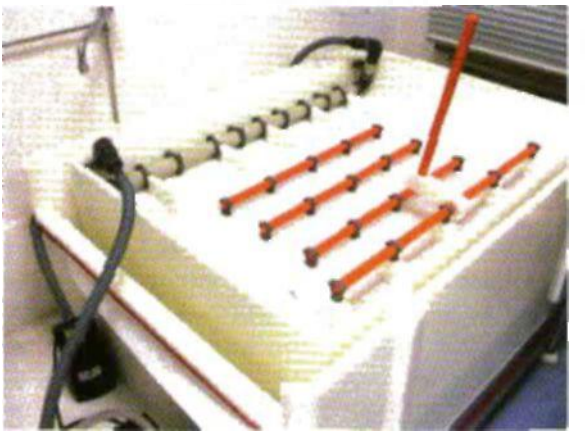


ILUSTRACIÓN 16. Existen diferentes sistemas de reintegración mecánica. En este modelo, la rejilla que sujeta la hoja entra y sale de la tina, reproduciendo en cierto modo la manera de trabajar del laurente.

tablemente la tarea del restaurador. Esta máquina ha ido perfeccionándose progresivamente, y en la actualidad sigue comercializándose con éxito.

El trabajo con estas máquinas es delicado en muchos aspectos. Por ejemplo, la cantidad de pulpa introducida en la cubeta es muy importante. Si la cantidad es insuficiente, los injertos resultarán más delgados que la hoja original. Si la cantidad es excesiva, el papel formado en el faltante puede llegar a ofrecer tanta resistencia al paso del agua como el resto de la hoja, con lo que la pulpa se distribuye por toda su superficie, formando una especie de tenue velo blanquecino. Este problema es especialmente notable en papeles antiguos, generalmente elaborados con fibras poco refinadas, que producen láminas muy porosas. En estos casos, los injertos (elaborados a partir de pulpas actuales, mucho más refinadas) pueden ofrecer resistencia al paso del agua incluso antes de que su grosor sea similar al del papel restaurado. Por otro lado, la unión de los injertos a la hoja original, basada exclusivamente en la formación de puentes de hidrógeno entre las fibras del injerto y las de la hoja original, puede ser también demasiado débil para resistir una manipulación normal de la hoja, en especial si el corte del faltante es limpio, sin bisel ni rugosidades. Además, la selección o preparación inadecuada de las fibras puede producir injertos con un aspecto notablemente distinto al de la hoja restaurada. Por ello, la correcta estimación de los tipos y cantidades de pulpa y de los tiempos de formación es crítica para el desarrollo de procesos de reintegración mecánica satisfactorios.

Esta estimación puede ser muy compleja. Se han desarrollado sistemas para determinar de forma precisa la cantidad de pulpa necesaria en cada cubeta, basados en la medición de la superficie faltante y del gramaje de la hoja, incluso con la ayuda de ordenadores y escáneres, pero no se

han demostrado superiores (y sí mucho más lentos) al trabajo de un experto. Los problemas de falta de adhesión entre el injerto y la hoja se solucionan mediante adición de adhesivos a la hoja restaurada, y una formulación adecuada de la pulpa, en la que se combinen adecuadamente fibras de longitudes y grados de refino óptimos. La correcta formulación de la pulpa también puede evitar el problema que se produce cuando se forman papeles con similar grosor al original, pero de muy distinta textura.

Para lograr superar estas dificultades sin tener que realizar largas pruebas experimentales en cada caso, es necesaria una amplia experiencia en esta faceta particular de la conservación y restauración del papel. De hecho, en los centros más destacados existen restauradores dedicados casi exclusivamente a la aplicación de estas técnicas. En estos casos, es posible reintegrar libros enteros en una sola mañana de trabajo, frente las cuatro o seis semanas que puede tomar un caso típico reintegrado manualmente. Sin embargo, en los centros con menos disponibilidades, en los que no existe personal que pueda dedicarse sistemáticamente a la reintegración mecánica, su aplicación resulta mucho menos eficiente: la ausencia de experiencia continuada hace necesaria una larga serie de pruebas, para poder producir resultados que muchas veces tampoco son del todo satisfactorios.

Por otro lado, hay limitaciones que son inherentes a la propia técnica, y que no dependen de la destreza o la sabiduría del restaurador. Destacaremos dos:

a) El hecho de que las hojas hayan de ser sumergidas en agua para su reintegración hace que esta técnica no sea aplicable en el caso de hojas con elementos solubles.

b) El tamaño de las máquinas impide su aplicación cuando se trabaja con hojas de formato superior al habitual.

En definitiva, la reintegración mecánica puede emplearse en conservación y restauración de obras de arte, y de hecho así ocurre en determinados laboratorios, pero es un sistema que se demuestra especialmente útil en bibliotecas, donde la cantidad de hojas pendientes de reintegración puede ser muy grande, y en donde la mayor parte de las hojas no contienen elementos solubles en agua. En estos casos, el uso de máquinas como la *Vinyector* permite reducir en mucho el tiempo requerido: la reintegración de un libro que mediante técnicas manuales de reintegración manuales requeriría un mes de trabajo de un restaurador puede quedar concluido en unas cuantas horas sin merma de calidad.

4. REINTEGRACIÓN POR LAMINACIÓN

En muchas ocasiones, la reintegración propiamente dicha puede ser innecesaria, porque la laminación del documento le confiere un aspecto suficientemente adecuado. Así, la laminación completa de una pieza puede servir también para resolver sus faltantes si la hoja de refuerzo tiene una tonalidad y textura similares a las de la hoja restaurada. Aunque este tipo de actuaciones no se puede considerar como una reintegración de faltantes en el mismo sentido en que lo son las técnicas descritas arriba, pueden cumplir una función similar, con resultados parecidos y de manera mucho más rápida.

5. REINTEGRACIÓN CROMÁTICA

Idealmente, la reintegración de un faltante se debe hacer con una pulpa que posea, una vez seca, un aspecto similar al del papel restaurado. Pero ello no siempre es posible, a menudo porque no se dispone del tiempo que llevaría hacer todas las pruebas necesarias; o, más sencillamente, porque la hoja no tiene el mismo color en toda su superficie o porque está impresa, pintada o manuscrita. En cualquier caso, si esto ocurre y se considera necesario hacer una reintegración poco perceptible, se puede recurrir a la reintegración cromática. La reintegración cromática consiste sencillamente en colorear la superficie del injerto hasta igualarla con su entorno, y no requiere mayor destreza que la necesaria para manejar los colores que se deseen aplicar. Estos colores pueden ser de muchos tipos: acuarelas, *gouaches*, pasteles, lápices de color, lápices de grafito, pigmentos puros... cualquier técnica con la que el restaurador se sienta cómodo puede servir para este objetivo, *sea o no irreversible (en este caso este requisito no se tiene en cuenta* puesto que de hecho estamos coloreando un añadido, que de por sí es perfectamente reversible). Sin embargo, se debe tener en cuenta que la aplicación de técnicas acuosas probablemente producirá arrugas y ondulaciones en el papel. Por ello, y como norma general, las técnicas secas pueden resultar más convenientes para zonas de tamaño grande.

La reintegración cromática puede también emplearse para reintegrar faltantes cromáticos, es decir, pérdidas de elementos gráficos en la obra o documento original. Estos faltantes pueden ser zonas más o menos amplias, como cuando un «pececillo de plata» (*lepisma saccharina*) roe la superficie de una acuarela, aunque a menudo se trata de simples rayas producidas por pliegues o por el roce de objetos punzantes. Normalmente, este tipo de reintegraciones sólo se aplican en obras de arte o en documentos con alto valor estético. Por el contrario, en objetos en los que pre-

valece el valor documental, estos procedimientos no suelen ser aplicados. En estas reintegraciones, por supuesto, sí es necesario ceñirse en lo posible a los requisitos de reversibilidad. Pero aparte de ello hay muy pocas normas que puedan ser mencionadas: son el restaurador (que conoce y domina mejor unas técnicas que otras) y la propia obra (que presenta unas características materiales y que tiene que cumplir unas funciones concretas) los que convertirán en idónea una técnica u otra (ilustraciones 17 a 19).

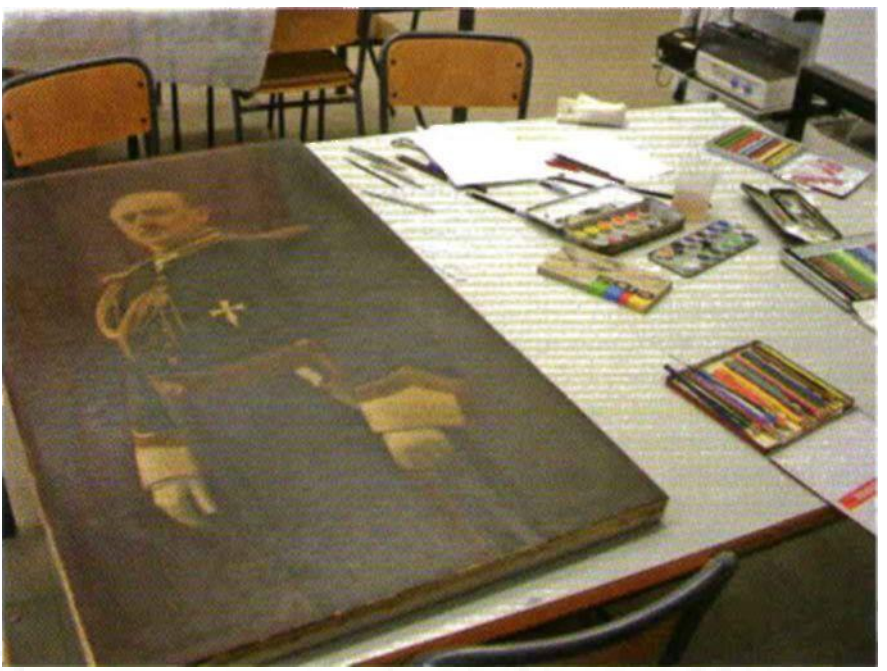


ILUSTRACIÓN 17. La reintegración cromática se puede realizar con una amplia variedad de materiales.

ILUSTRACIÓN 18. Las técnicas acuosas pueden ser muy adecuadas para reintegrar pequeños faltantes en grabados

ILUSTRACIÓN 19. El grabado de las ilustraciones 6, 7 y 8, después de la realización del injerto y de la reintegración cromática.

CAPÍTULO 12

LA DESACIDIFICACIÓN DEL PAPEL

1. LA DESACIDIFICACIÓN

1.1. EL DETERIORO QUÍMICO DEL PAPEL: UN «INCENDIO LENTO»

Los síntomas más destacados del deterioro químico del papel son el amarilleo del papel y la pérdida de resistencias mecánicas. Durante el proceso de deterioro las resistencias disminuyen de forma progresiva, pero el usuario típico no percibirá la disminución hasta que el papel no se rompe durante su manipulación, es decir, hasta que no es demasiado tarde. Cuando la pérdida de resistencias está muy avanzada, los papeles afectados pueden quedar totalmente inusables: los papeles se vuelven extremadamente friables, y se quiebran al ser tocados, lo que supone la pérdida casi segura del documento. Puesto que no existe una correlación exacta entre el amarilleo de la hoja y su friabilidad, no existe ninguna forma fiable de percibir el desarrollo del problema hasta que éste no está muy avanzado. Ciertamente, la pérdida de resistencias mecánicas podría detectarse mediante la realización de pruebas específicas, como las pruebas de plegado, que consisten en contabilizar el número de veces que puede plegarse una hoja por el mismo sitio antes de romperse. Sin embargo, estas pruebas son destructivas, por lo que su aplicación a los documentos históricos no es viable.

Éste es, por lo tanto, un problema insidioso, pero además está muy extendido. *El deterioro químico del papel se considera el problema, cuantativa y cualitativamente, más importante de la conservación del papel.* Los anglosajones lo han denominado *slow fire* («incendio lento»), porque una de las principales reacciones químicas que lo origina es la oxidación (que también se produce, aunque de forma mucho más rápida y violenta, cuando se quema un papel). Este «incendio lento» afecta a las bibliotecas de todo el mundo, aunque afortunadamente no afecta a todos los papeles por igual. Las hojas de papel de pasta de madera mecánica son las víctimas principales. Muchos de los libros, periódicos y revistas publicados en todo el mundo a partir de mediados del siglo XIX ya presentan evidentes

problemas de fragilidad, que eventualmente, y si no se toman medidas, conducirán a su pérdida.

El deterioro químico tiene causas complejas, no del todo conocidas. Como ha dicho el científico Chandru Sanani, de la Biblioteca del Congreso de Washington, aun después de medio siglo de investigación «todavía seguimos preguntándonos cómo envejece un papel». Sin embargo, desde mediados del siglo XX y a partir de los trabajos pioneros de William J. Barrow, se acepta que la hidrólisis ácida de la celulosa es uno de los principales mecanismos de deterioro químico del papel, y que la acidez es tanto causa como síntoma fiable de ese deterioro. La medición de la acidez de los papeles a restaurar es por lo tanto un procedimiento habitual en los laboratorios de conservación y restauración del papel, que se puede hacer sencillamente mojando una esquina de la hoja y midiendo el pH del agua en esa zona. El resultado se considera indicativo del grado de deterioro del papel: un pH inferior a 6 corresponde a un papel moderadamente deteriorado; un pH inferior a 5,5 corresponde a un papel con un deterioro importante, y un pH de 5 o menos indica un grave deterioro (ilustración 1).

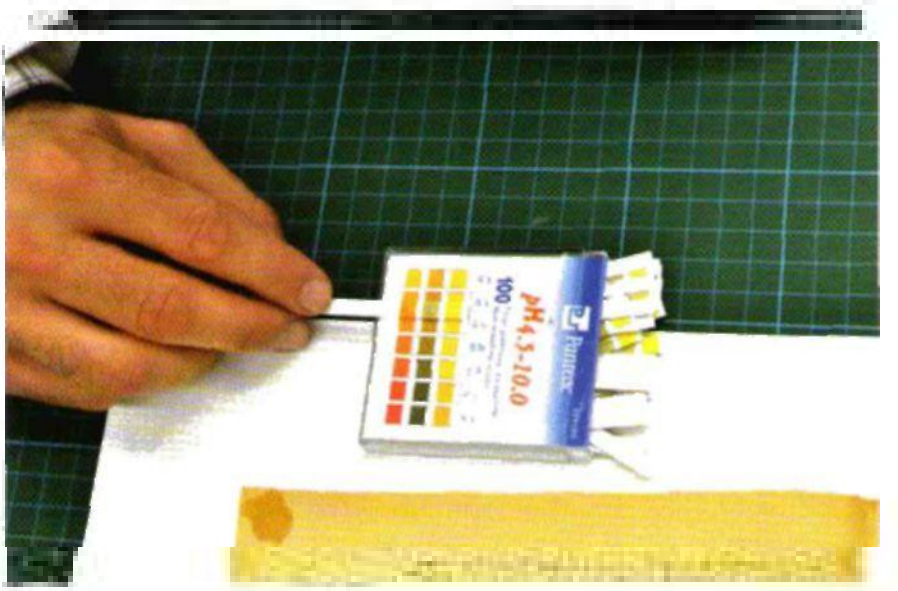


ILUSTRACIÓN 1. La acidez del papel se considera un indicador fiable de su estado de degradación química. Así, el pH de las hojas químicamente deterioradas es bajo; un pH inferior a 5,5 suele corresponder a un deterioro importante.

1.2. Efectos de la desacidificación

Para detener el deterioro químico se intenta *desacidificar* el papel. La desacidificación del papel consiste en:

- elevar el pH del papel, reduciendo la acidez; e
- introducir una reserva alcalina estable que evite futuros deterioros.

Técnicamente, reducir la acidez de un papel es una tarea sencilla, pero la mera elevación del pH tan sólo representa una detención momentánea del proceso de deterioro, tras la cual éste se reinicia de nuevo. El verdadero problema es conseguir que esa reducción sea duradera. Así, para producir un efecto positivo a largo plazo es necesario introducir una reserva alcalina capaz de neutralizar la acidez en un futuro.

Esta última característica es muy importante. La desacidificación es un proceso estrictamente conservativo, no implica una mejora del estado del papel ni repara el deterioro ya producido. Su misión es evitar un futuro deterioro, conservando el papel en su estado actual, sea éste fuerte o débil.

La desacidificación es una práctica muy común en conservación y restauración del papel. Por su carácter preventivo y su inocuidad se considera recomendable incluso en aquellos casos en los que los que el deterioro es previsible aunque no se haya producido todavía. Por ello, la cantidad de objetos basados en papel susceptibles de desacidificación es enormemente grande. La cantidad de objetos que necesitan ser desacidificados de manera urgente para sobrevivir a medio plazo es obviamente menor, pero aun así sigue siendo gigantesca.

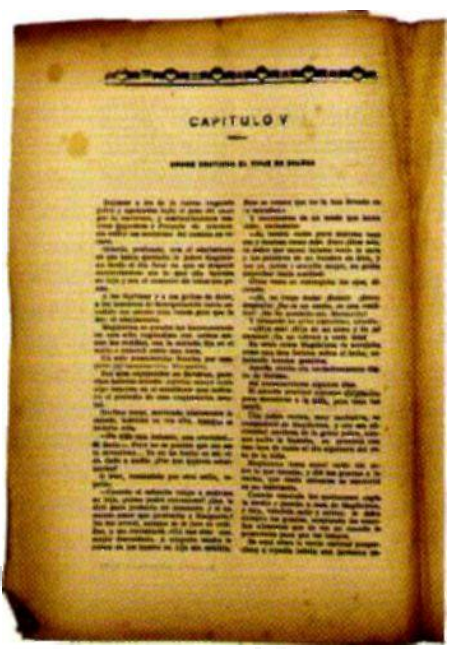

CAPITULO V

Ilustración 2. El deterioro químico más acentuado suele corresponder a los papeles fabricados con pastas mecánicas de madera. Estos papeles suelen presentar un alto nivel de amarilleo, un olor característico y una importante pérdida de resistencias físicas, que a menudo es especialmente intenso en las márgenes del papel o en otras zonas en las que el contacto con la atmósfera es mayor.

porque incluye un amplio número de libros, revistas, periódicos y, en menor medida, también documentos de archivo. Los papeles más afectados son los fabricados industrialmente entre 1875 y 1950, y, en general, aquellos en los que ha prevalecido el uso de pastas mecánicas fuertemente lignificadas y el encolado de colofonia (durante el cual las pastas son sumergidas en un medio altamente ácido) (ilustración 2).

2. LOS PROCESOS DE DESACIDIFICACIÓN INDIVIDUAL POR INMERSIÓN

En la mayor parte de los casos, el restaurador sólo pretende desacidificar la hoja (o las hojas) que está restaurando. Cuando esto es así, puede recurrir a una serie de técnicas que en general consisten en aplicar al papel una solución acuosa del compuesto desacidificador, normalmente mediante inmersión. La nómina de productos desacidificadores es grande. Los más importantes se basan en sales de calcio o magnesio. Entre los más efectivos cabe destacar las soluciones saturadas de hidróxido de calcio, bicarbonato de calcio, bicarbonato de magnesio, o una combinación de éstas.

Todos estos productos de desacidificación presentan una serie de ventajas y problemas. La desacidificación mediante inmersión en soluciones alcalinas supone exponer el papel a un pH marcadamente alcalino, que puede dañar las cadenas de celulosa con grado de polimerización más bajo; también puede producir el amarilleamiento más o menos intenso de los papeles lignificados. Aun así, las ventajas que representa para el papel son suficientes para hacer de la desacidificación un proceso generalmente aconsejable: las pruebas de laboratorio indican que los papeles desacidificados tienen mejores resistencias mecánicas después de su envejecimiento acelerado, lo que en la actualidad se acepta de manera generalizada como una prueba suficiente de los efectos positivos de la desacidificación.

2.1. Desacidificación con hidróxido de calcio

El carbonato de calcio es un compuesto muy abundante. Es una de las etapas intermedias de lo que se conoce como «ciclo de la cal». El ciclo de la cal se inicia con el óxido de calcio (CaO) o «cal viva». Cuando ésta entra en contacto con el agua, se produce una reacción exotérmica (la cal «hierve»), que da lugar a la «cal apagada» o hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$]. Cuando el hidróxido de calcio entra en contacto con el dióxido de carbo-

no del aire, el hidróxido cálcico reacciona, formando carbonato de calcio ($CaCO_3$). Este proceso es el mismo que se da, por ejemplo, cuando se enjalbegan las típicas casitas blancas de los países mediterráneos, o cuando los pintores preparan el *intonaco* para una pintura al fresco.

En conservación y restauración del papel se aprovecha el carácter alcalino del carbonato de calcio para usarlo como depósito alcalino en los procesos de desacidificación. El carbonato de calcio ha demostrado su eficacia como desacidificante del papel en muchas pruebas de laboratorio, y hoy se reconoce como uno de los mejores desacidificantes. De hecho, muchos de los papeles durables que hoy se elaboran industrialmente para su uso en archivos y otras funciones que requieren una alta estabilidad química incluyen entre sus cargas una elevada proporción de este compuesto, que contribuye de manera definitiva al mantenimiento de un pH neutro o moderadamente alcalino durante largo tiempo.

Sin embargo, el carbonato de calcio no puede usarse directamente como desacidificante en restauración del papel, porque es difícil de aplicar en hojas ya formadas. Una manera natural de hacerlo sería disolviéndolo en agua y bañando la hoja en la solución resultante; de este modo, el carbonato penetraría en el papel y quedaría en su interior tras el secado posterior. Desgraciadamente, el carbonato de calcio es prácticamente insoluble en agua, por lo que este sistema de aplicación no resulta viable en la práctica. Sin embargo, los restauradores han desarrollado una estrategia alternativa.

Esta estrategia se basa en el ciclo de la cal, y en particular en la capacidad del hidróxido de calcio para combinarse con el dióxido de carbono del aire para formar carbonato de calcio. Se basa también en el hecho de que el hidróxido de calcio es ligeramente soluble en agua; en un litro de agua no se puede disolver más de 1,85 gramos de hidróxido de calcio. No es mucho, pero sí lo bastante para introducir en el papel una cantidad suficiente de hidróxido de calcio tras un baño. Cuando después la hoja se deja secar al aire, el hidróxido presente se carbonata, logrando el efecto deseado: introducir en el papel partículas de carbonato de calcio convenientemente diseminadas en todo su espesor.

La manera de preparar la solución saturada de hidróxido cálcico es muy sencilla: basta con disolver el hidróxido de calcio en el agua por simple agitación. La cantidad de hidróxido que se debe añadir es de 2 gramos de $Ca(OH)_2$ por cada litro de agua, y habitualmente basta agitar el recipiente durante unos diez o veinte minutos para lograr una disolución adecuada. La mayor parte de hidróxido se disolverá en el agua, pero no todo. El recipiente se deja entonces reposar durante unas pocas horas para que las partículas no disueltas caigan al fondo del recipiente. El resultado es un líquido claro y cristalino, que es la solución en la que se bañará el papel para su desacidi-

ficación. Desgraciadamente, el recipiente no puede moverse apenas, porque si se hace el poso del fondo puede enturbiar la solución, así que una manera eficaz de trabajar consiste en emplear bidones con un grifo cerca de la base (ilustraciones 3 y 4). Una vez realizada la disolución, el bidón es dejado en un lugar que permita su uso sin necesidad de ser movido.

La desacidificación con hidróxido de calcio tiene importantes ventajas: es barata, cómoda, inocua y eficaz. Es también muy sencilla de aplicar: basta bañar la hoja en la solución. Sin embargo, también presenta algunos inconvenientes. El más importante es el tenue amarilleo que en ocasiones produce en los papeles de pasta de madera mecánica, que aun teniendo poca importancia desde un punto de vista puramente conservativo, sí produce un efecto desagradable en el espectador. Por otro lado, la solución desacidificadora es muy alcalina (tiene un pH que puede oscilar entre 10 y 11). Esto hace posible la alteración cromática de algunas tintas y pinturas basadas en tintes, que suelen ser muy sensibles a las variaciones en el pH, y quizá también la alteración del propio papel.

ILUSTRACIÓN 3. Bidón para la disolución del hidróxido de calcio. El exceso de hidróxido se deposita en el fondo, y se emplea el líquido sobrenadante. Por ello, el bidón no debe moverse desde unas horas antes de usar la solución, y es habitual colocarlos en lugares fijos de donde sólo se retiran para su rellenado.

Otro problema de tipo práctico se deriva de la naturaleza de la propia solución desacidificadora. El hidróxido de calcio que se halla en la superficie del líquido está en contacto con el aire, y tiende a formar car-

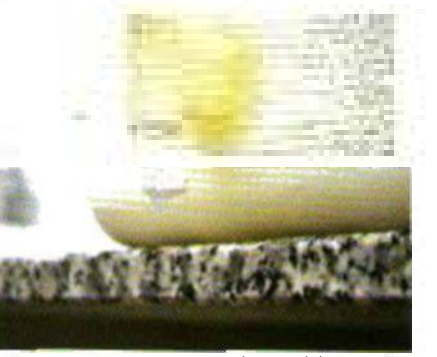


ILUSTRACIÓN 4. Si no se limpia periódicamente, se puede producir una acumulación de carbonato de calcio en la boca del bidón de solución de hidróxido cálcico. Esta acumulación se forma porque del hidróxido de calcio que se filtra o que queda en el grifo después de cada uso entra en contacto con el dióxido de carbono del aire y se transforma en carbonato de calcio, un proceso químicamente idéntico al que ocurre después de que la solución se haya introducido en el papel.

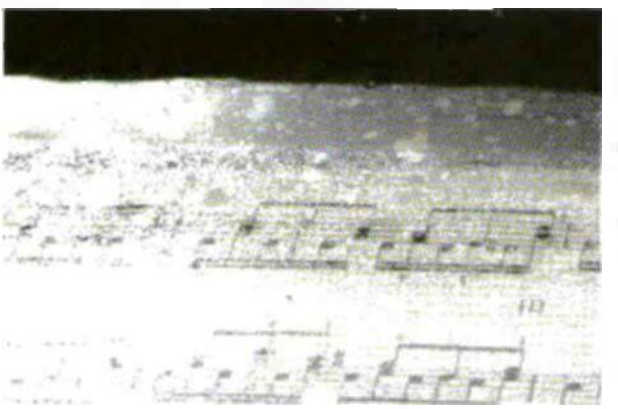


ILUSTRACIÓN 5. La carbonatación del hidróxido de calcio o del bicarbonato de calcio ocurre también cuando la solución se halla en la cubeta: a los pocos minutos se forma una tenue capa de carbonato de calcio en la superficie del agua, que a veces adquiere un aspecto irisado. Si no se actúa cuidadosamente, esta capa puede ser arrastrada al sacar la hoja del baño, produciendo un efecto desagradable sobre la hoja.

bonato cálcico. El resultado es que a los pocos minutos de ser vertido en la cubeta, en la superficie del líquido aparece un velo de tonalidades irisadas, y después blanquecinas, compuesto por carbonato cálcico. Este velo puede ser arrastrado por el papel cuando éste se retira de la cubeta, quedando en su superficie. Si la hoja llega a secar, el velo queda entreverado en las rugosidades del papel, haciéndose muy difícil su eliminación (recordemos que el carbonato es apenas soluble en agua). Incluso si la hoja no ha arrastrado ningún velo durante su extracción de la cubeta, este velo también puede formarse durante el secado, por la carbonatación superficial de los pequeños cercos de agua que puedan haber quedado en la superficie de la hoja.

Este problema puede ser difícil de solucionar si llega a producirse, pero afortunadamente, es relativamente fácil de prevenir, aplicando ciertas medidas sencillas:

- El velo de la superficie puede eliminarse manualmente antes de la extracción de la hoja.
- La hoja puede extraerse boca abajo.
- La hoja puede extraerse protegida también por el anverso con otro papel, o con una lámina de Hollytex, Reemay u otro material similar.
- El líquido remanente en la hoja extraída puede ser absorbido con un secante u otro material absorbente, para evitar la formación de nuevos velos.

Conocer el mecanismo químico que hay detrás de la desacidificación con hidróxido cálcico nos permite también entender otra precaución a adoptar: el baño de desacidificación no puede ser seguido por ningún otro baño. Si la hoja bañada en la solución de hidróxido cálcico es inmediatamente sumergida en otra solución, ésta arrastrará buena parte del hidróxido, haciendo imposible la necesaria carbonatación. Sin

embargo, una vez producida la carbonatación, y a causa de la insolubilidad en agua del carbonato de calcio, la hoja sí puede bañarse de nuevo sin mayor problema.

2.2. La desacidificación con bicarbonato de calcio

La desacidificación mediante bicarbonato de calcio [$Ca(HCO_3)_2$] sigue un principio similar a la desacidificación mediante solución de hidróxido de calcio: ambas introducen en el papel un compuesto que después se transforma en carbonato de calcio, el producto que realmente neutralizará la acidez que puede producirse en el futuro. La solución de bicarbonato cálcico sin embargo presenta una ventaja: la alcalinidad de la solución en la que se sumergen las hojas es muy inferior a la de las soluciones de hidróxido de calcio. Mientras que éstas pueden alcanzar un pH que oscila entre 10 y 11, las soluciones de bicarbonato cálcico no rebasan el 8,5. Desde hace tiempo se viene sospechando que una alcalinidad alta puede causar cierto deterioro

ILUSTRACIÓN 6. La preparación de la solución del bicarbonato de calcio es más complicada y costosa que la de la solución de hidróxido de calcio, sobre todo cuando se desacidifica un gran volumen de hojas. Para facilitar el suministro de agua carbonatada y la disolución del carbonato de calcio se han elaborado sistemas *ad hoc* a veces muy sofisticados. El que aparece en la fotografía se ha diseñado y construido a partir de dispositivos fabricados para el mantenimiento de grandes acuarios, aunque su creación exige mucho ingenio y trabajo, ese esfuerzo se puede demostrar rentable a corto o medio plazo

químico en el papel, y ésta es la razón por la que el bicarbonato de calcio es elegido por algunos restauradores frente a sistemas similares como el del bicarbonato de magnesio o el del hidróxido cálcico, que, sin embargo, resultan más fáciles de preparar.

En principio, la preparación de la solución de bicarbonato es teóricamente muy sencilla: basta disolver carbonato de calcio en agua carbonatada. El agua carbonatada no es otra cosa que agua en la que se ha disuelto un gas, dióxido de carbono (CO_2), produciendo lo que se conoce popularmente como «agua con gas». El coste y la incomodidad de la desacidificación mediante bicarbonato de calcio radican, entre otras cosas, en la necesidad de disponer de suficiente volumen de agua carbonatada, o del equipamiento necesario para fabricarla.

El dióxido de carbono forma ácido carbónico (H_2CO_3) al mezclarse con el agua. El ácido carbónico hace que el carbonato de calcio, que en circunstancias normales es muy poco soluble en agua, pueda disolverse en proporciones mucho mayores (suficientes en todo caso para aportar una buena reserva alcalina a las hojas de papel) produciendo, sin embargo, una solución con un pH moderado. La disolución de dióxido de carbono se hace habitualmente haciendo circular burbujas del gas a través del agua. Esto exige una fuente de CO_2 (una bombona, por ejemplo), que debe ser tanto más grande cuanto más grande es el consumo. En grandes laboratorios de restauración a menudo se instalan sistemas de elaboración semiindustriales que hacen viable la preparación de la solución (ilustración 6), pero en laboratorios medianos o pequeños, esto no siempre es posible. En estos casos, se recurre a sistemas más simples, como puede ser el empleo de aparatos para la elaboración de refrescos caseros, o, simplemente, la adquisición de botellas de agua mineral con gas (si se hace así, se debe buscar agua con bajo contenido en metales pesados y con un grado de gasificación elevado).

Una vez se dispone del agua con dióxido de carbono, se disuelve en ella el carbonato de calcio a razón de aproximadamente 1 gramo por litro de agua (la concentración no es crítica, y puede adaptarse a las necesidades de cada hoja: cuanto menor es la proporción de carbonato, menor es la alcalinidad de la solución y menor la cantidad de carbonato que finalmente se introducirá en el papel). Si no se dispone de equipamiento especializado, la mejor manera de hacerlo es colocar el carbonato en un pequeño recipiente de vidrio, verter encima entre 50 y 100 ml de agua carbonatada de la botella, y agitar hasta lograr la mezcla del polvo con el agua. Entonces, se vierte la mezcla en la botella de agua original, se cierra y se invierte lentamente para favorecer la dispersión del carbonato sin producir una gran cantidad de burbujeo. La disolución completa tarda en producirse unas horas, y suele ser aconsejable cambiar la posición de la botella o agi-

tarla suavemente cada cierto tiempo para dispersar las partículas de carbonato no disueltas. Normalmente, la solución se prepara de un día para otro, y se conserva en una nevera para reducir la acumulación de gases en la botella. Aun así, raramente se logra la disolución total del carbonato, por lo que se debe intentar no enturbiar el agua con el poso cuando se vierte en la cubeta de baño. A menudo esto supone no emplear toda la solución disponible, desechando los últimos 50 o 100 mililitros, que suelen contener la mayor parte del poso.

Como se ha dicho, la solución se vierte en una cubeta, en donde la hoja a desacidificar será sometida a un baño según los procedimientos habituales, y con la duración habitual (en la mayor parte de los casos, entre 15 y 30 minutos). La única precaución especial que se debe tomar es evitar la formación de burbujas debajo de la hoja, que pueden hacer que haya zonas de la misma que no queden suficientemente impregnadas por la solución. La misma solución puede emplearse para varias hojas, aunque la suciedad degrada el preparado progresivamente, y llega un momento en que es necesaria su sustitución.

La desacidificación con carbonato de calcio puede tener efectos negativos sobre la apariencia de la hoja desacidificada. En particular, no es infrecuente la aparición en la superficie de partículas suficientemente grandes como para resultar perceptibles. Además, se puede producir un cierto viraje en algunos colores sensibles al pH o incluso la aparición de aureolas de color durante el secado; se ha sugerido que este fenómeno puede deberse a que el pH del papel se eleva durante el secado, a causa de la evaporación del dióxido de carbono (de carácter ácido) de la hoja.

3. LA DESACIDIFICACIÓN EN MASA

La desacidificación mediante baño es un proceso perfectamente adecuado para la conservación de grabados, dibujos, mapas, documentos individuales, y en general, para cualquier tipo de hoja susceptible de ser bañada. Este tipo de objetos son los que habitualmente se encuentran en talleres de museos, o en talleres particulares de restauración. Sin embargo, esta técnica no es adecuada para las necesidades de bibliotecas o archivos. En estos casos, la desacidificación de hojas individuales resulta excesivamente lenta, porque el volumen de trabajo es enorme: cada libro contiene típicamente cincuenta, cien, doscientas hojas; cada periódico, entre quince y treinta; cada legajo, entre cincuenta y quinientas. Desacidificar un libro como el que se está leyendo supondría su desencuadernación, el bañado de cada hoja, su secado y alisado, y su reencuadernación: un conjunto de operaciones que resultarían lentas, costosas y traumáticas

para el libro. Imaginando que por término medio pudiese desacidificarse un libro por jornada de trabajo (y éste es un cálculo extremadamente generoso), un restaurador podría realizar la desacidificación de unos trescientos libros al año, una cantidad poco significativa para bibliotecas de tamaño medio o grande. Para responder a esta necesidad se han desarrollado las técnicas de desacidificación en masa.

Las técnicas de desacidificación aspiran a permitir la desacidificación de volúmenes enteros, legajos, revistas, periódicos y materiales similares de forma rápida, y sin necesidad de desmontarlos previamente. Las aproximaciones a este objetivo han sido, y son, muy variadas, aunque básicamente podemos clasificarlas según la naturaleza del agente desacidificador en procesos gaseosos y procesos líquidos. Los sistemas gaseosos son ideales porque permiten la penetración natural del agente desacidificador en los papeles; los sistemas líquidos, por el contrario, suponen la aplicación del desacidificador hoja a hoja mediante pulverización, o la inmersión de los volúmenes completos en baños. En general, los sistemas líquidos son más arriesgados y traumáticos para los objetos conservados, pero también más efectivos.

La desacidificación en masa es un reto tecnológico importante. La investigación necesaria para su desarrollo exige unos conocimientos y una financiación distintos de los habituales. La investigación se desarrolla en (o es financiada por) unas pocas instituciones con alto poder económico: la Biblioteca del Congreso de Washington, la Biblioteca Nacional de París, la Biblioteca Nacional de Londres, etc. En muchos casos, la desacidificación es desarrollada por empresas privadas que son contratadas por las propias bibliotecas.

Entre los primeros métodos desarrollados se puede destacar el sistema basado en la morfolina desarrollado por el Barrow Research Laboratory desde 1970, el carbonato de ciclohexilamina patentado por Langwell a mediados de los 60, o la exposición al gas amoniaco propuesta por Kathpalia. Todos ellos se consideran hoy día inadecuados por un motivo u otro: la morfolina es insatisfactoria a largo plazo, y no produce resultados convincentes en el caso de papeles con pasta mecánica; el amoniaco no produce reserva alcalina, y desaparece del papel con la misma facilidad con la que penetra, por lo que no impide la acidificación subsiguiente; el carbonato de ciclohexilamina es también muy volátil, y desaparece rápidamente, con el riesgo añadido de que es un potente agente tóxico y carcinógeno.

Durante mucho tiempo el dietilo de zinc (DEZ) fue considerado como el mejor sistema de desacidificación en masa disponible. El DEZ es un gas que reacciona con las moléculas de agua adheridas a la celulosa, formando una reserva alcalina estable y suficiente de óxido de zinc. Sin embargo, su manipulación es altamente peligrosa, puesto que el gas explota

al entrar en contacto con el aire o si hay un exceso de humedad. Esto complica el tratamiento: los libros han de ser cuidadosamente secados en una cámara de vacío durante unos tres días. Después, el DEZ es introducido en esta cámara, penetrando en los libros, neutralizando la acidez, y produciendo como resultado el óxido de zinc que actuará como reserva alcalina, y gas etano, que ha de ser extraído de la cámara. Todo este proceso exige un complicado y costoso equipamiento, y unas severísimas condiciones de trabajo, que no impidieron la explosión que se produjo en la planta de Fort Dietrich en 1986.

El sistema DEZ fue inventado en la década de 1970, y perfeccionado sucesivamente para reducir los problemas que afectaban a los objetos tratados (olores, formación de capas brillantes en la superficie del papel, acumulación de óxido de zinc en polvo, etc.). Esta técnica siguió empleándose hasta finales de la década de 1990, cuando la compañía privada que gestionaba el desarrollo del proceso (Akzo) abandonó este sistema. En la actualidad, esta técnica no se emplea, por el alto coste de las instalaciones requeridas, y por la aparición de otros sistemas de eficacia similar.

Por supuesto, han existido y existen otros procesos: el canadiense *PAPRICAN*, el «método de Viena», el proceso *Batelle*, la desadificación por carbonato de magnesio de la Deutsche Bibliothek, el sistema Wei T'o, el proceso Bookkeeper, el sistema MG-3 de FMC, el proceso Sablé, el Renaissance HA de Renaissance Chemicals Lts., o el sistema español CSC Booksaver.

Sin embargo, y a pesar de todos los esfuerzos técnológicos y económicos, en la actualidad no hay un método de desacidificación en masa que resulte plenamente convincente (ilustración 7). Además, su seguimiento y

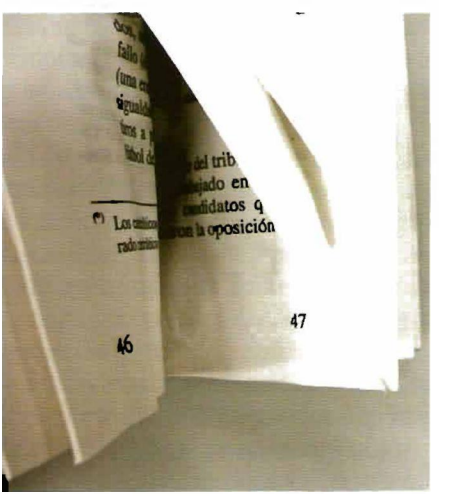


ILUSTRACIÓN 7. Los procedimientos de desacidificación en masa son muy rápidos, pero pueden presentar problemas, como la formación de depósitos superficiales en el papel, la disolución de algunos tintes o la adhesión de las hojas entre sí, como en el caso que muestra la fotografía.

valoración se ven complicados porque la evolución de los sistemas de desacidificación es muy rápida y porque, demasiado a menudo, los intereses comerciales que hay en juego llevan a la difusión de informaciones exageradas en un sentido u otro, y a la ocultación de datos relevantes sobre la composición del producto.

4. ALTERNATIVAS PARA LA DESACIDIFICACIÓN INDIVIDUAL NO ACUOSA

Algunos procesos de desacidificación en masa (como el Wei T'o, el Bookkeeper o el Booksaver) presentan especial interés para la mayor parte de restauradores, porque pueden también ser usados para desacidificar hojas individuales. Estos compuestos se comercializan preparados para su aplicación directa (mediante pulverización o a pincel) sobre las hojas que se pretende desacidificar. Estos tres productos están preparados con excipientes no acuosos, de modo que no alteran el papel de manera significativa. Así, es posible aplicarlos directamente sobre las hojas de un libro sin desencuadernar, o sobre materiales gráficos sensibles al agua, como por ejemplo sobre una pintura al *gouache*. Sin embargo, todos ellos presentan ciertos problemas de importancia. Por un lado, pueden provocar depósitos superficiales perceptibles a simple vista; por otro lado, su efectividad desacidificadora es limitada en comparación con los sistemas de desacidificación basados en baños acuosos, y además pueden disolver ciertos tipos

ILUSTRACIÓN 8. Muchas empresas de desacidificación en masa comercializan sus productos para uso individual, generalmente en *spray* o pulverizador. Estos productos son muy poco eficaces comparados con los tratamientos por inmersión, pero a veces son la única opción técnicamente viable.

de materiales, incluyendo algunos tintes. Si a ello sumamos su elevado coste, se entenderá por qué en la práctica se consideran como soluciones excepcionales para cuando la desacidificación mediante inmersión de hojas individuales no es viable.

Una alternativa más eficaz, aunque bastante más engorrosa, es bañar la hoja en una solución alcohólica de hidróxido de bario. El hidróxido de bario [$Ba(OH)_2$] es un compuesto soluble en etanol o en metanol, que en contacto con el CO_2 del aire tiende a formar carbonato de bario ($BaCO_3$), una sustancia que puede actuar como reserva alcalina. Así, en la práctica, el hidróxido de bario funciona de manera similar al hidróxido de calcio, pero con la particularidad de que su disolvente no es acuoso. Esto permite su aplicación sobre hojas con materiales solubles en agua, o en otros casos en los que no es aconsejable humectar la hoja. La solución se prepara sencillamente disolviendo 15 gramos de hidróxido bario por cada litro de alcohol, y el proceso de aplicación es similar al del hidróxido de calcio. En todo caso es necesario adoptar todas las precauciones necesarias, tanto para el documento (realizando las pertinentes pruebas de solubilidad previas) como para el restaurador (extremando las precauciones ante la alta inflamabilidad del alcohol y la toxicidad de sus vapores).

CAPÍTULO 13

TÉCNICAS DE LAMINACIÓN Y REFUERZO

1. TRES MANERAS DE REFORZAR UNA HOJA DE PAPEL

Cuando un papel envejece experimenta una pérdida de resistencias mecánicas. Esta pérdida puede no ser trascendental en el caso de hojas de pequeño tamaño que van a ser enmarcadas para su observación; pero si las hojas son de gran tamaño, o van a ser manipuladas de alguna manera (como es el caso de los documentos de un archivo, biblioteca o hemeroteca), es necesario garantizar que serán capaces de resistir su propio peso, o la manipulación a que puedan verse sometidas. En estos casos se emplean diversas técnicas de refuerzo. Básicamente, estas técnicas consisten en aplicar uno o varios de los procedimientos siguientes:

- Regenerar los puentes de hidrógeno interfibrilares
- Impregnar la hoja con una sustancia consolidante
- Adherir a la hoja un material de refuerzo

2. REGENERACIÓN DE LOS PUENTES DE HIDRÓGENO

Como se ha dicho, las fibras del papel se mantienen unidas entre sí por la formación de puentes de hidrógeno entre las moléculas de celulosa que las componen. El puente de hidrógeno se produce en presencia de moléculas de agua, que se disponen entre las fibras, manteniéndolas unidas. Con el tiempo, y en circunstancias climáticas adversas —esto es, si el papel es conservado en entornos con baja humedad relativa— las moléculas de agua pueden escapar a la atmósfera, debilitando las uniones interfibrilares, y también las intrafibrilares, y reduciendo la resistencia del papel. La restitución de esas moléculas de agua contribuye a mejorar las resistencias del papel.

Esta restitución se realiza simplemente aplicando agua al papel, por cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente. De hecho, la rehidratación constituye un procedimiento muy habitual en conservación

y restauración del papel, que puede resultar beneficioso tanto para mejorar las resistencias del papel como para disolver productos resultantes de su deterioro químico que producen su amarilleo: en la práctica, este procedimiento sólo se omite en los casos excepcionales en los que se sospecha un riesgo notable para la integridad del documento. Sin embargo, la mejora en las resistencias mecánicas que se obtiene por este sistema no puede considerarse sustancial, por lo que a menudo es necesario recurrir a la aplicación de alguna de las restantes técnicas de refuerzo.

3. IMPREGNACIÓN

La impregnación de la hoja con un material consolidante (también conocida como «reencolado» o «reapresto») puede contribuir a devolver a la hoja parte de la resistencia perdida. Esta impregnación puede realizarse con diversos tipos de adhesivos, incluso con adhesivos no acuosos, pero la carboximetilcelulosa de sodio reúne una serie de ventajas que la hacen muy aconsejable: estabilidad, inocuidad, comodidad de manejo, alto grado de reversibilidad y bajo coste.

Normalmente, la impregnación se realiza sumergiendo el papel en una solución diluida de un adhesivo acuoso, como la carboximetilcelulosa (se puede tomar como referencia una concentración del 0,1-0,3 por 100 p/v, aunque el restaurador debe decidir la proporción exacta en función de la intensidad del refuerzo requerido, del tipo de papel, del tipo de material gráfico, etc.). Cuando la hoja se extrae del baño y se prensa entre tejido no tejido y secantes, la CMC seca, contribuyendo a reforzar las uniones interfibrilares; en las concentraciones indicadas, y en condiciones normales, la CMC no provoca cúmulos superficiales perceptibles ni zonas brillantes.

Por supuesto, las hojas también pueden impregnarse con otros adhesivos, como el almidón o la cola de gelatina, convenientemente diluidos a una consistencia cercana a la del agua. Aun a concentraciones tan bajas, el almidón y, sobre todo, la cola de gelatina presentan una importante capacidad adhesiva, por lo que es importante absorber la mayor cantidad de adhesivo antes de someterlo al alisado, especialmente si, como es habitual, éste se hace por presión.

Hay otros procesos de impregnación que han sido desarrollados para su aplicación en masa en bibliotecas y archivos. Son, por ejemplo, las técnicas de copolimerización desarrolladas por la universidad de Surrey para su aplicación en la British Library, los sistemas basados en la impregnación con parileno, o el procedimiento MG-3 de FMC. Estas técnicas son de una complejidad extraordinaria y todavía no son bien conocidas. Su ca-

rácter es primordialmente industrial, y su aplicación está limitada a los centros que las han desarrollado.

4. ADHESIÓN DE REFUERZOS: LA LAMINACIÓN

4.1. La laminación con adhesivos en disolución

Si el objeto se halla en un estado de deterioro grave, la rehidratación o la impregnación no serán habitualmente suficientes para hacerlos manejables de nuevo. En estos casos, se puede optar por adherir al papel una lámina de un material suficientemente resistente que impida sucesivos deterioros. Es lo que se conoce como laminación.

Habitualmente, el material de refuerzo es otra hoja de papel, generalmente un papel japonés de gramaje bajo o muy bajo. Hay muchas variedades de papeles japoneses, con muy diversos nombres según la empresa que los distribuya (incluso hay papeles pseudo-japoneses fabricados en máquina fourdrinier): el restaurador tiene que conocer las variedades disponibles en su ámbito, experimentar con ellas, y decidir cuál es la más adecuada para cada caso. Como norma general, un papel japonés de 10 gramos es útil para reforzar hojas de entre 50 y 100 gramos, mientras que un papel japonés de 30 gramos es adecuado para reforzar hojas de 200 gramos o más.

Por supuesto, esta norma general no excluye las excepciones. De hecho, hay muchos factores que pueden afectar los requisitos del refuerzo, así como su resultado. El restaurador debe tener presente estos factores, y adaptar los que puede controlar para producir un resultado adecuado. Entre los factores controlables por el restaurador cabe destacar:

- *El tipo de material de refuerzo*. Básicamente consiste en elegir una variedad u otra de papel japonés de entre las disponibles, atendiendo a su opacidad, textura, gramaje, color, orientación de las fibras, etc. Un caso típico es la laminación de hojas de texto impresas por ambas caras. En estos casos, es casi ineludible el uso de papel japonés de muy bajo gramaje, que al ser impregnado con adhesivo produce un conjunto suficientemente transparente como para permitir la lectura cómoda del texto.
- *El tipo de adhesivo*. Se puede emplear cualquier adhesivo aceptado en conservación. Los éteres de celulosa, el almidón o la cola de gelatina proporcionan un resultado adecuado, y pueden emplearse en circunstancias normales. Si por el contrario la hoja contiene elementos solubles en agua se puede recurrir a otros adhesivos.

• *La viscosidad del adhesivo*. La mayor parte de adhesivos pueden ser disueltos en concentraciones muy distintas. A mayor viscosidad, menor penetración.

• *La cantidad de adhesivo*. La mayor dificultad de estas técnicas radica en la necesidad de aplicar una cantidad adecuada de adhesivo. El objetivo es impregnar suficientemente el material de refuerzo (lo que le proporcionará una transparencia adecuada), sin impregnar en exceso la hoja (lo que provocaría zonas brillantes, causadas por el acúmulo superficial de adhesivo, y/o zonas oscuras, a causa de la transparencia provocada en la hoja). La intensidad de estos efectos depende de muchos factores: el material de encolado empleado, el grado de porosidad de la hoja, el grado de encolado de la hoja, la textura superficial de la hoja, etc. Ello hace imposible establecer normas generales al respecto.

• *La forma del refuerzo*. En general, el refuerzo se corta a un tamaño ligeramente superior al del documento, y el exceso se recorta una vez completado el proceso. Cuando la hoja a laminar es grande, puede ser necesario solapar varias hojas de papel japonés (basta un solapamiento de

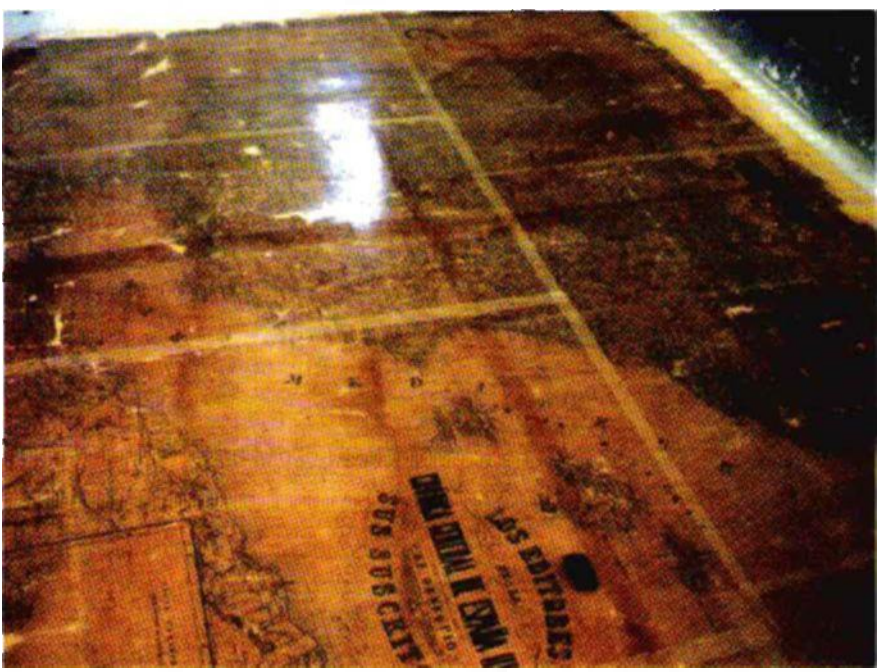


ILUSTRACIÓN 1. Las obras de gran formato no siempre pueden laminarse con una sola hoja de papel japonés. En estos casos, se yuxtaponen varias hojas de japonés, solpándolas entre sí unos pocos centímetros. La fotografía muestra un mapa de gran tamaño que ha sido laminado temporalmente por el anverso para permitir su manipulación.

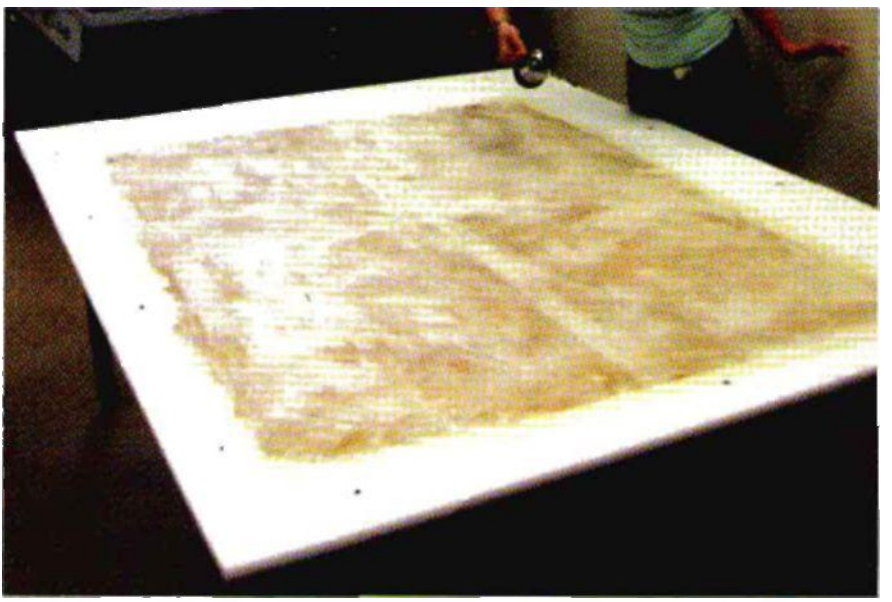


ILUSTRACIÓN 2. La obra de la fotografía fue después laminada por su cara posterior con cuatro hojas de papel japonés de 50 gramos. Los bordes de las hojas resultan más difíciles de observar porque cuando se emplean varias hojas en la laminación definitiva de una obra de gran formato es práctica habitual desfibrar los bordes de la hoja que se van a solapar; además, la imagen muestra las hojas a medio secar. La restauradora está humedeciendo los bordes para evitar su secado prematuro y desigual.

unos 5 ó 10 milímetros). En estos casos, los bordes de las hojas que se solapan no se cortan, sino que se desgarran, para disminuir el impacto del cambio de grosor.

— *La disposición del refuerzo*. Normalmente, el refuerzo se dispone en una sola cara del papel (si es posible, en la cara menos relevante), pero en ocasiones puede ser necesario aplicarlo en ambas caras. Por otro lado, e incluso si el papel japonés ha sido realmente fabricado a mano, las fibras suelen estar orientadas en un sentido preferente. Esto debe ser tenido en cuenta, sobre todo si la hoja a reforzar también es de papel fourdrinier. En la gran mayoría de los casos, las fibras del refuerzo deben orientarse paralelamente a las de la hoja. De lo contrario, e incluso con variaciones termohigrométricas muy pequeñas, la hoja podría ondularse de manera notable.

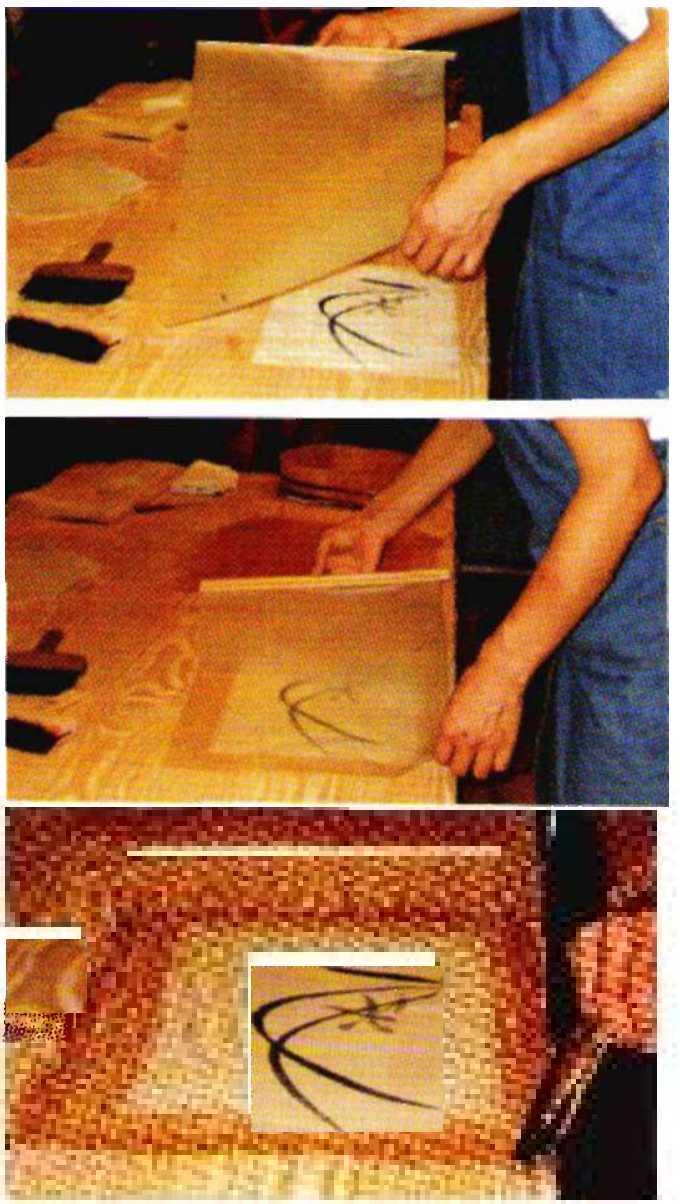
La capacidad para la evaluación adecuada y el control efectivo de estos factores se adquiere de forma empírica, mediante la práctica continuada. El restaurador debe valorar las necesidades estéticas y mecánicas del

trabajo y desarrollar un tratamiento adecuado a cada caso: algunas hojas van a ser expuestas mientras que otras van a ser manipuladas; algunas hojas contienen información mientras que otras son soporte de una obra de arte; algunas hojas tienen elementos valiosos en ambas caras, mientras que otras los tienen sólo en una cara; algunos papeles son muy absorbentes mientras que otros están muy encolados, etc.

Cuando se emplean adhesivos solubles en agua (es decir, en la gran mayoría de los casos), y a causa de la hidratación causada por el agua del adhesivo, las hojas reforzadas experimentan variaciones dimensionales que pueden llegar a producir pliegues y arrugas importantes, especialmente cuando la laminación no es total sino local. Por ello, en la práctica totalidad de los casos, las hojas deben ser alisadas tras el tratamiento de refuerzo.

Por este mismo motivo, cuando se realiza la laminación con adhesivos acuosos, suele ser aconsejable humectar previamente tanto la hoja a laminar como la hoja de refuerzo; así se evitan las deformaciones que podrían producirse durante la aplicación del adhesivo. Además, se puede modificar el procedimiento de refuerzo aplicando hojas de papel japonés previamente impregnadas con el adhesivo elegido (ilustraciones 3 a 5).

Hay una variación de este proceso que puede ser especialmente útil cuando se trabaja con hojas de pequeño formato o con materiales solubles en agua. Consiste en emplear hojas preimpregnadas y secas, a las que se añade el disolvente adecuado para reactivar el adhesivo. Para preparar estas hojas, el restaurador debe impregnar las hojas de refuerzo con el adhesivo, adherirlas a un cristal u otra superficie lisa y poco adherente, y, una vez secas, retirarlas y almacenarlas hasta que llegue el momento de su uso. Cuando van a ser utilizadas, estas hojas se recortan al tamaño deseado, y se disponen sobre la hoja a reforzar. Después simplemente se aplica el disolvente adecuado, que solubiliza el adhesivo y adhiere el papel japonés a la hoja. Así, se pueden preparar hojas de refuerzo preimpregnadas con cualquier éter de celulosa, aunque en la práctica, y dado que la aplicación de los éteres es de por sí suficientemente cómoda, suele ser más ventajoso el uso de papeles preimpregnados con adhesivos no acuosos: por ejemplo, una mezcla a partes iguales de Degalan o Plextol B500 y Primal E411 produce un adhesivo soluble en metanol o etanol y muy fácil de preparar: como se ha dicho, basta impregnar la hoja con la mezcla de adhesivos sobre un cristal u otra superficie poco adherente, y despegarla cuando se han secado. Cuando van a ser aplicadas, las hojas preimpregnadas se humedecen con alcohol, que se puede aplicar con un pulverizador o directamente con pincel o brocha: el refuerzo de dispone sobre la hoja, y se procede a su alisado normal.



ILUSTRACIONES 3, 4 y 5. Esta secuencia muestra la aplicación de una hoja de papel japonés sobre el reverso de un dibujo. La hoja de japonés se ha impregnado previamente con adhesivo, y la pieza a laminar también se ha humedecido. Además, la restauradora está usando un pieza de madera para transportar la hoja, lo que puede facilitar la operación. Una vez depositada la hoja, se repasa con una brocha delicada para eliminar cualquier posible irregularidad.

4.2. La laminación mediante adhesivos fundentes

Existe una alternativa a la laminación mediante adhesivos en disolución: los adhesivos fundentes. Estos adhesivos se presentan habitualmente en forma de láminas finas, que se colocan entre la hoja a laminar y el material de refuerzo. Después, se aplica calor suficiente para fundir el adhesivo, que de esta manera adhiere las dos partes entre sí. En el caso de refuerzos locales, el calor puede aplicarse mediante un plancha o una espátula caliente (ilustración 6); las laminaciones totales se pueden también hacer manualmente con una plancha, aunque los resultados pueden no ser idóneos. En estos casos, una mesa caliente de vacío o una prensa caliente son muy aconsejables (ilustración 7).

En la mayor parte de los casos, los adhesivos empleados para este fin, como la Beva Film o el Archibond, funden entre 70 °C y 80 °C. En algunos casos, el material de refuerzo se comercializa ya preimpregnado con un adhesivo fundente. Por ejemplo, el Archibond es un papel japonés de entre 8 y 10 gramos con una capa fina de un adhesivo similar al Paraloid B-72; éste mismo adhesivo se emplea para fabricar el Area Bonded Fibre, muy parecido al Archibond, excepto que en este caso en lugar de papel japonés se emplea una lámina de tejido no tejido de bajo gramaje. El uso de estos materiales agiliza la aplicación de los refuerzos con adhesivo fundente, porque evita la necesidad de trabajar con dos láminas (la de adhesivo y la de refuerzo) que deben ser manipuladas, cortadas y alineadas por separado.

El procedimiento de laminación por calor es muy rápido y extremadamente cómodo si se dispone del equipamiento adecuado. Además, esta técnica es «seca», lo que elimina los riesgos de disolución de elementos

Ilustración 6. Los adhesivos fundentes pueden ser aplicados sin necesidad de mojar el papel. En la fotografía se aprecia cómo la hoja se puede adherir simplemente aplicando calor de forma localizada, en este caso punteando mediante una espátula caliente.

ILUSTRACIÓN 7. Para laminar hojas enteras con adhesivos fundentes es muy aconsejable (aunque no imprescindible) el uso de una prensa caliente de vacío como la que se ve en la fotografía. Una vez cerrados, estos aparatos comprimen la obra y el material de refuerzo mientras aplican calor de manera homogénea, produciendo un resultado consistente en pocos minutos. Esta operación, sin embargo, es muy agresiva para el papel: antes de proceder a fundir el adhesivo, las hojas se deben proteger mediante una lámina de plástico no adherente para evitar que la presión las dañe y que alguna parte de la lámina de adhesivo se adhiera a las superficies calientes de la propia mesa.

gráficos solubles, y los problemas derivados de la deformación de la hoja por humectación. Sin embargo, desde un punto de vista conservativo esta técnica es muy inferior a los métodos de laminación mediante adhesivo con disolvente, y sobre todo cuando el disolvente es el agua (como ocurre en la gran mayoría de las ocasiones). El método seco elimina todas las ventajas derivadas de la humectación de las hojas (desacidificación, eliminación de suciedad, regeneración de puentes de hidrógeno), y supone la aplicación de presión y calor intensos al papel y a las tintas, que pueden alterarse de manera perceptible (ilustración 8). Sin embargo, el mayor problema de estas técnicas es su escasa reversibilidad real. Aunque en teoría las uniones formadas por adhesivos fundentes pueden deshacerse simplemente calentando la pieza de nuevo o mediante disolución (la Beva Film se disuelve en xileno y otros adhesivos, mientras que el Archibond es fácilmente soluble en acetona o etanol), en la práctica esto resulta muy

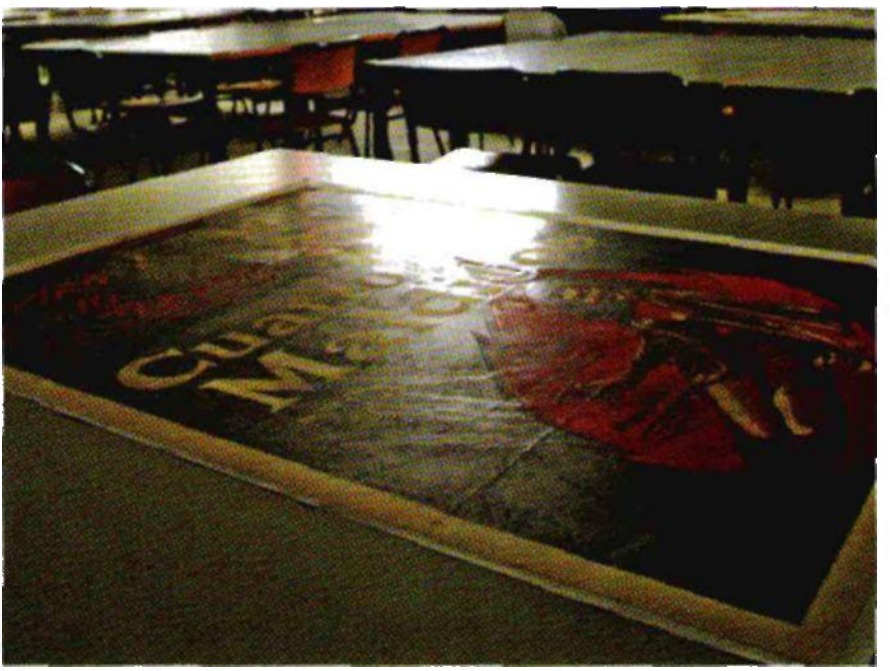


ILUSTRACIÓN 8. La superficie del papel puede verse muy alterada por la prensa caliente de vacío. La serigrafía que aparece en la fotografía presentaba el acabado mate característico de esta técnica. Sin embargo, después de un tratamiento de laminación en seco en prensa caliente adquirió el aspecto satinado o brillante que se puede apreciar en la imagen.

incómodo para el restaurador y muy arriesgado para la hoja. Además, que puedan llegar a separarse las hojas no quiere decir de ninguna manera que se pueda eliminar el adhesivo. Incluso retirando el adhesivo por disolución, una parte muy significativa permanece en la propia hoja después del despegado, lo que hace difícil un hipotético tratamiento alternativo.

5. UNA TÉCNICA EN DESUSO: EL ENCAPSULADO

Una forma de refuerzo distinta es el encapsulado. Hablando de forma sencilla, el encapsulado consiste en *plastificar* la obra, adhiriendo una lámina de plástico no poroso, como el simple politetileno, por ambas caras. Las láminas de plástico son de un tamaño ligeramente mayores que la hoja, por lo que se unen entre sí en los bordes exteriores. El resultado es que la obra queda aislada del exterior, y que el conjunto adquiere unas resistencias físicas muy notables, de modo que puede ser manipulado sin apenas riesgos. Además, queda totalmente protegida contra el ataque de insectos bibliófagos.

La operación del encapsulado se puede hacer mediante el empleo de *laminadoras* que someten a las hojas a altos grados de presión y temperatura. En las laminadoras se introducen las obras originales junto con el material plástico de encapsulado. El calor funde las hojas de plástico, y la presión las adhiere íntimamente al documento y entre sí.

Este procedimiento produce resultados prácticamente irreversibles. Además, se introducen alteraciones estéticas difícilmente tolerables. Por ello, en la práctica, su uso siempre ha estado limitado a documentos textuales de interés histórico, pero no se ha aplicado en el caso de grabados, dibujos, carteles, y en general, de obras con valor estético.

Pero quizá el problema más grave de esta técnica es su escasa efectividad en la conservación del documento. Inicialmente se pensó que el aislamiento total del exterior serviría para incrementar la permanencia del papel, pero en la práctica, el aislamiento también puede ser contemplado como «confinamiento». Un confinamiento en el cual los agentes de deterioro presentes en el interior del documento en el momento de su encapsulado pueden actuar sin interferencias exteriores; por ejemplo, la imposibilidad para intercambiar moléculas de agua con el exterior hace que las variaciones en la temperatura ambiente tengan una importante repercusión en la humedad relativa interna, que puede producir un importante deterioro químico —un deterioro químico sobre el que ya no es posible actuar, por el carácter altamente irreversible del proceso.

Por todo ello, el encapsulado es hoy una práctica en desuso, que ha sido sustituida por el uso de fundas abiertas de Mylar, Melinex u otros plásticos similares. Estas fundas son muy sencillas de confeccionar y, hasta donde ello es posible, se diseñan y montan sin adhesivos mediante pestañas simples. Ello permite la consulta y manipulación de documentos delicados sin impedir la evaporación o absorción de vapor de agua, ni cualquier futuro tratamiento de restauración.

CAPÍTULO 14

EL BLANQUEO DEL PAPEL

1. CONCEPTO DE BLANQUEO

Uno de los síntomas más conocidos del deterioro del papel es el amarillamiento de las hojas. Este amarillamiento suele considerarse estéticamente indeseable, y su eliminación es uno de los objetivos habitualmente esperados de un trabajo de conservación y restauración (ilustración 1). Esta eliminación puede hacerse por simple disolución. El proceso de disolución se hace simplemente bañando la hoja en agua, lo que elimina las impurezas solubles en agua; esto suele reducir el grado de amarilleo, pero no todas la impurezas son solubles en agua. Si la proporción de impurezas no solubles en agua es grande, la simple disolución puede no resultar suficientemente efectiva. Cuando esto ocurre, se hace necesario recurrir al blanqueo.

Lo que aquí entendemos por «blanqueo» es la operación que consiste en destruir químicamente los grupos cromóforos que confieren color al papel, o a sus manchas. Esto se logra aplicando compuestos oxidantes, compuestos reductores, ácidos suaves o radiaciones luminosas de baja longitud de onda.

2. PROBLEMAS DEL BLANQUEO

El blanqueo puede aplicarse a papeles amarilleados, pero también a manchas localizadas que no ha sido posible eliminar por otros procedimientos. En ambos casos los resultados del blanqueo pueden ser satisfactorios, y con frecuencia resultan llamativos. Por ello, ésta es una de las técnicas más populares entre el público (ilustración 2). Sin embargo, tal y como se repetirá más adelante, muchos procedimientos de blanqueo se han demostrado nocivos para la conservación del papel.

En resumen, el problema de los blanqueadores es su escasa selectividad. Idealmente, un blanqueador debería limitarse a destruir los compuestos químicos que están oscureciendo o amarilleando el documento, pero en la

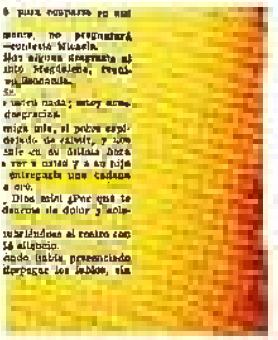


ILUSTRACIÓN 1. El amarilleo del papel es un problema muy extendido, aunque por sí mismo no representa más que un problema meramente estético. Para mostrar su alcance, en esta fotografía se han yuxtapuesto, de izquierda a derecha, una hoja de papel amarilleado de la década de 1940, y dos papeles fabricados poco antes de tomar la fotografía y sin ningún envejecimiento perceptible: un papel de oficina corriente y una hoja de papel secante común.

ILUSTRACIÓN 2. Comparación del color original de una hoja y el color resultante tras una operación de blanqueo suave realizada con hipoclorito de calcio. Como se ve, el blanqueo puede paliar el amarilleo de las hojas, mejorando su aspecto general. Sin embargo, las técnicas de blanqueo más eficaces (las que se basan en reacciones de oxidación) no sólo no mejoran el estado de conservación del papel, sino que contribuyen a su deterioro, por lo que su aplicación debe ser cuidadosamente considerada.

práctica no existe ningún blanqueador tan selectivo: todos ellos afectan en una u otra forma a los demás componentes del documento. Entre esos efectos colaterales se encuentran la destrucción de las cadenas de celulosa y la oxidación de algunos de sus grupos funcionales, que a su vez originan una reducción notable de las resistencias mecánicas y, paradójicamente, una aceleración en la velocidad de amarilleo posterior. Por último, y a un nivel más evidente e inmediato, también pueden incluir la alteración (o eliminación total) de algunas tintas, o la disolución de aglutinantes.

Éste es un hecho bien conocido, aunque muchas veces las circunstancias (que pueden ser de muy diversa índole) hacen que el restaurador opte por aplicar estos procedimientos. De hecho, estas técnicas siguen gozando de una relativa popularidad. Las razones para ello no son, en apariencia, enteramente lógicas. En la mayor parte de las ocasiones, el blanqueo es innecesario porque la información contenida en el documento es per-

fectamente legible. Pero la presión social o laboral, el deseo de producir la ilusión de lo nuevo, el peso de una práctica de años, la inercia de una tradición técnica, o la necesidad o el impulso de producir un trabajo más llamativo y vistoso, hacen que los métodos de blanqueo se apliquen a menudo, a pesar de la insistencia con la que los distintos autores e investigadores desaconsejan su empleo.

3. SISTEMAS DE BLANQUEO

Los procedimientos de blanqueo empleados por los restauradores han sido muy variados. En la lista siguiente se han ordenado en cuatro categorías principales:

1. Blanqueadores oxidantes:
   - Hipoclorito de sodio
   - Hipoclorito de calcio
   - Peróxido de hidrógeno
   - Cloramina B y T
   - Permanganato potásico
   - Clorito cálcico
   - Dióxido de cloro
   - Cloro
   - Ozono
2. Blanqueadores reductores:
   - Ditionitas
   - Borohidruro de sodio
3. Blanqueadores ácidos:
   - Ácido cítrico
   - Ácido oxálico
   - Ácido acético
4. Radiaciones luminosas

Sin embargo, la lista de blanqueadores realmente aplicables no es tan amplia. Algunos de esos procesos no se pueden desarrollar de forma sencilla en un laboratorio de conservación y restauración, porque exigen una infraestructura de complejidad excesiva; otros no resultan económicamente rentables; otros suponen riesgos para el restaurador; otros sencillamente resultan poco efectivos; por último, no todos los blanqueadores son igualmente inocuos para el papel. Basándonos en estos criterios, y en las necesidades más habituales del restaurador del papel, podemos seleccionar los blanqueadores siguientes:

1. Oxidantes
   - Hipoclorito sódico
   - Hipoclorito cálcico
   - Peroxido de hidrógeno
2. Reductores
   - Borohidruro de sodio

Mediante estos blanqueadores el restaurador puede resolver de forma satisfactoria la mayor parte de los problemas en los que este proceso puede resultar útil. Como se verá, todos ellos son cómodos de preparar y usar, relativamente económicos, e implican muy poco riesgo para restaurador; además, permiten un control del proceso, y no requieren un aparataje complicado. Algunos de ellos, sin embargo, pueden resultar bastante perjudiciales para el papel, pero existen procedimientos que nos permiten reducir de una forma sustancial el riesgo de deterioro.

4. BOROHIDRURO DE SODIO

El borohidruro de sodio ($NaBH_4$) es un agente reductor, que resulta especialmente destacable por su escasa agresividad para el papel. Muchos autores han puesto de relieve cómo los papeles blanqueados con borohidruro de sodio se han mantenido estables en las pruebas de envejecimiento artificial, sin perder resistencias mecánicas ni amarillear de forma notable. De hecho, en la actualidad se admite generalmente que el borohidruro de sodio tiene un efecto *positivo* para la conservación del papel, lo que incluso haría aconsejable su aplicación. Esta opinión no es unánime, pero sí que existe unanimidad a la hora de reconocer al borohidruro como el más inocuo de los blanqueadores.

La solución blanqueadora de borohidruro sódico se elabora sencillamente disolviendo el borohidruro en agua en proporciones adecuadas a la intensidad del blanqueo que se persigue, y a la forma de aplicación. Como medida de referencia se puede emplear una solución acuosa al 1 por 100 (p/v), para aplicaciones locales (mediante pincel, hisopo, etc.) (ilustración 3). Para aplicaciones mediante baño se puede preparar una solución compuesta por 1 gramo de borohidruro sódico por cada 100 gramos de papel a blanquear; la cantidad de agua no es crítica: sencillamente se añade la necesaria para cubrir las hojas de forma efectiva.

Cuando el borohidruro se mezcla con agua, se produce la reacción siguiente:

$$NaBH_4 + 2H_2O \rightarrow NaBO_2 + 4H_2$$

ILUSTRACIÓN 3. A causa de su coste, relativamente elevado, el borohidruro suele aplicarse mediante pincel.

que resulta en una liberación de hidrógeno como gas, perceptible por la formación de burbujas, y por su olor ligeramente desagradable. La cantidad de hidrógeno producido no es importante, pero es necesario tener presente su alta inflamabilidad y enfatizar las medidas de seguridad habituales en lo relativo a riesgos de explosión o incendio.

Esta reacción puede seguir produciéndose durante el blanqueo. Cuando la solución penetra en el papel, la evolución al exterior del gas puede provocar a veces una alteración de la textura superficial del papel; éste es un efecto poco evitable, y que de hecho constituye un problema inherente a esta técnica. Se puede paliar permitiendo que transcurra un lapso de tiempo

ILUSTRACIÓN 4. El borohidruro de sodio se prepara disolviéndolo en agua. Al hacerlo, genera una pequeña cantidad de burbujas de hidrógeno.

entre la preparación de la solución y su aplicación, permitiendo que la mayor parte del gas se libere antes de que la solución penetre en el papel. La desacidificación previa es también una práctica muy recomendable, en especial cuando la solución blanqueadora va a ser aplicada por inmersión y no mediante pincel.

El blanqueador se deja actuar hasta que se alcanza el grado de blanqueo deseado, y si no se produce ningún imprevisto. En general, este lapso de tiempo puede durar en torno a quince o treinta minutos, aunque las circunstancias de cada caso pueden aconsejar tiempos notablemente más breves o más prolongados. Al respecto, es necesario tener presente que el borohidruro no daña el papel; por el contrario, la estabilidad del blanqueo del papel es mayor cuanto más tiempo haya estado éste en contacto con el borohidruro sódico. Tras el blanqueo mediante borohidruro se debe realizar un baño de aclarado, para eliminar la máxima cantidad de residuos posibles. Este baño suele durar entre 20 y 30 minutos, pero estos valores son meramente indicativos: cada hoja necesita un baño de una duración concreta en función de su gramaje, de su grado de encolado, de la duración del blanqueo, de la solubilidad de los elementos sustentados, etc.

La solución de borohidruro no es estable, por lo que no es aconsejable su almacenamiento durante varios días. Su efecto blanqueador disminuye rápidamente, incluso en condiciones óptimas de almacenamiento, por lo que es recomendable preparar tan sólo la cantidad de solución que se vaya a emplear en esa sesión de trabajo, desechando el sobrante al final.

Como blanqueador del papel, el borohidruro es útil tanto para papeles de pasta de trapos como para papeles de pasta de madera, con o sin lignina. Sin embargo, su efectividad como blanqueador es inferior a la del hipoclorito de calcio y a la del hipoclorito de sodio. Paralelamente, su efecto sobre las tintas y elementos sustentados también es, en líneas generales, menor: algunas tintas sensibles a los hipocloritos pueden ser menos sensibles al borohidruro de sodio, o incluso completamente insensibles. Pero también existen tintas y otros elementos sustentados que son más sensibles a la acción de un agente reductor como el borohidruro: el hecho de que éstas se den con menos frecuencia no significa que el restaurador pueda aplicar este compuesto de forma indiscriminada, ni hace innecesarias las pruebas previas al tratamiento.

A pesar de estas limitaciones, las ventajas que hemos descrito para el borohidruro lo convierten en un blanqueador de referencia para la práctica habitual de la conservación y restauración. Además, algunas investigaciones han sugerido de forma bastante convincente la posibilidad de que el borohidruro de sodio sea empleado como neutralizador de los compuestos clorados, e incluso como desacidificador. Esto hace posible el empleo del borohidruro también como complemento de los hipoclori-

tos: de esta forma se pueden sumar los efectos blanqueadores de ambos compuestos.

5. HIPOCLORITO SÓDICO

El hipoclorito sódico (NaClO) es un agente oxidante que se ha empleado en conservación y restauración del papel desde antiguo. Como blanqueador tiene una acción muy poderosa, pero también resulta muy degradante para el papel, como han señalado de forma casi unánime numerosos investigadores. Su uso, por lo tanto, debería restringirse en la medida de lo posible.

En la práctica, sin embargo, el hipoclorito de sodio es un blanqueador muy frecuente en los laboratorios de restauración. Su facilidad de aplicación, su bajo coste y, sobre todo, su alto poder blanqueador, lo han hecho muy popular. Sus desventajas son sin duda más importantes, pero menos obvias: el papel blanqueado mediante hipoclorito de sodio experimenta un daño químico notable, que acelera su envejecimiento. Curiosamente, esto implica una disminución en las resistencias mecánicas, pero también el amarilleo del papel que acaba de ser blanqueado: a largo plazo, los papeles blanqueados con hipoclorito sódico se amarillean y oscurecen más rápidamente que los otros.

El poder blanqueador del hipoclorito sódico es muy notable, especialmente en cuanto atañe a manchas producidas por tintes naturales o artificiales. Por ejemplo, es el blanqueador idóneo para eliminar manchas producidas por hongos, o muchas variedades de *foxing*. También blanquea notablemente los papeles de pasta de trapos, aunque no tanto los papeles lignificados, en los que incluso puede producir un cierto amarilleamiento. Además, es cómodo de usar: la solución de hipoclorito puede aplicarse en concentraciones muy variadas, según las necesidades del restaurador, y en condiciones de uso normales no implica riesgos relevantes para la seguridad del restaurador.

El hipoclorito sódico es barato y se puede adquirir fácilmente. Normalmente, se vende ya disuelto, en concentraciones que oscilan entre el 12 y el 15 por 100 de cloro activo. Sin embargo, es preciso tener presente que el hipoclorito sódico no es enteramente estable, y se descompone con el paso del tiempo. Por ello es aconsejable adquirirlo en cantidades pequeñas y almacenarlo en un entorno frío y protegido de la luz.

El hipoclorito sódico puede aplicarse en concentraciones muy variadas, según las necesidades de cada caso. Básicamente, puede ser necesario lograr una determinada intensidad del blanqueo, y que ese blanqueo se produzca a mayor o menor velocidad. Estos factores, cuya correcta admi-

nistración depende esencialmente de la prudencia y la experiencia del restaurador, pueden ser manipulados alterando la concentración de hipoclorito. Normalmente, suelen aplicarse concentraciones que oscilan entre el 1 y el 5 por 100 de cloro activo. Trabajando con preparados comerciales normales (es decir, con soluciones de NaClO en torno al 15 por 100), esta proporción se obtiene mezclando entre 20 y 200 ml de solución comercial de NaClO por litro de agua, según la intensidad y rapidez deseadas.

Para neutralizar la acción del hipoclorito se puede aplicar, como se ha dicho, una solución de $NaBH_4$ preparada disolviendo 1 gramo de borohidruro de sodio por cada 100 gramos de papel a neutralizar en una cantidad de agua suficiente para cubrir la o las hojas a neutralizar. Este procedimiento supone un blanqueo añadido, porque el borohidruro elimina grupos cromóforos distintos de los que elimina el hipoclorito sódico. Sin embargo, también implica riesgos para los elementos sustentados, que pueden ser sensibles a la acción de este blanqueador. Para su aplicación, por tanto, es necesario tomar las precauciones normales para la aplicación de cualquier blanqueador. Además, es necesario tener presente que un baño de hipoclorito sódico no puede ser neutralizado eficazmente mediante una aplicación superficial de borohidruro sódico. El borohiduro (como cualquier otro neutralizador) debe penetrar de forma completa en el papel, y esto sólo se puede lograr mediante un baño de duración suficiente (como referencia, podemos entender como «duración suficiente» un lapso de tiempo similar al del baño de blanqueo).

El hipoclorito sódico también se puede neutralizar mediante un baño en ácido diluido, como el acético (al 5 por 100) o clorhídrico (al 4 por 100), precedido por un baño de aclarado. Sin embargo, el neutralizador más habitualmente empleado es el hiposulfito (o tiosulfato) sódico: tras del baño de blanqueo, la hoja se somete a un baño de aclarado, y después se sumerge en una solución de hiposulfito de sodio en agua, en una proporción que puede oscilar entre el 2 y el 5 por 100 (p/v), según la intensidad y duración que haya tenido el blanqueo. Sin embargo, este sistema de neutralización también ha sido criticado por su escasa efectividad. No existe en la actualidad unanimidad sobre la idoneidad de uno u otro proceso. Puesto que los efectos negativos del blanqueo por oxidación se producen a largo plazo y son de difícil evaluación, y dado que las informaciones provenientes de medios científicos son contradictorias, en la elección de uno u otro por parte del restaurador juegan un papel importante factores como la inercia, la opinión personal de otros colegas, la asequibilidad, la facilidad de manipulación o la inocuidad.

6. HIPOCLORITO CÁLCICO

El hipoclorito cálcico [$Ca(ClO)_2$] produce, en teoría, la misma reacción blanqueante que el hipoclorito sódico. En solución acuosa, ambos producen el ión hipoclorito, que es el principal responsable de las reacciones oxidantes de blanqueo. Sin embargo, las soluciones de hipoclorito suelen contener también hidróxidos de sodio o de calcio como productos colaterales, y estos hidróxidos tienen efectos distintos sobre la celulosa: el hidróxido sódico produce la disolución parcial de las beta- y gammacelulosas, la disolución de las cadenas oxidadas de celulosa, y el hinchamiento de las fibras, que permite la penetración del hipoclorito; el hidróxido cálcico, por el contrario, no produce estos efectos, por lo que su blanqueo es superficial y en general menos intensos. Asimismo, la intensidad del blanqueo producida por el hipoclorito cálcico en papeles de trapos es menor que la que se puede obtener empleando hipoclorito sódico, mientras que por el contrario su comportamiento es mejor en el caso de papeles lignificados. Algunos autores, además, han encontrado que el hipoclorito cálcico deteriora sensiblemente la celulosa de los papeles de trapos. Por ello, y como regla general, el hipoclorito sódico puede recomendarse para papeles sin lignina, mientras que el hipoclorito cálcico resulta más adecuado para papeles lignificados.

El hipoclorito cálcico se suele comercializar en polvo. El restaurador debe preparar la solución disolviéndolo en agua, en una concentración que suele oscilar en torno al 1 por 100 (p/v). La solución resultante tiene un aspecto lechoso, lo que hace necesario su filtrado o su decantación.

El hipoclorito cálcico exige también la neutralización posterior, para lo que pueden emplearse las soluciones descritas arriba para el hipoclorito sódico. Si se emplea una solución de ácido diluido como neutralizador se deben eliminar antes los restos de blanqueador, algo que se puede lograr sencillamente mediante un baño de aclarado en agua. Si no se realiza este baño, se corre el riesgo de producir durante las etapas iniciales de la neutralización el efecto contrario al deseado, acelerando el blanqueo (y el deterioro de la celulosa) por la elevada acidez del medio.

De hecho, el blanqueo del papel reduce progresivamente el pH de la solución de hipoclorito (tanto cálcico como sódico). Esto tiene consecuencias importantes, porque una solución ácida es más nociva para el papel. Por ello, el uso de una misma solución para realizar muchos baños de blanqueo resulta desaconsejable; por esta misma razón, resulta aconsejable desacidificar el papel antes y después del blanqueo.

7. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es un agente oxidante asequible y de sencilla preparación. Se comercializa como solución acuosa en farmacias y empresas de productos químicos. La que se comercializa en farmacia (el «agua oxigenada») suele presentarse en concentraciones bajas e inocuas, aunque contienen productos estabilizantes que pueden reducir su utilidad para el restaurador. Sin embargo, las variedades procedentes de empresas de productos químicos presentan un alto grado de pureza y unas concentraciones muy elevadas (en torno a los 100 volúmenes): a estas concentraciones, el peróxido de hidrógeno puede causar quemaduras de importancia. Para su uso como blanqueador, la solución se diluye a una concentración adecuada, que suele oscilar entre los 10 y 20 volúmenes. Así, por ejemplo, un litro de peróxido de hidrógeno de 110 volúmenes debe diluirse en aproximadamente 10 litros de agua para su uso como blanqueador del papel. Para su manipulación es aconsejable el uso de guantes.

Cuando el peróxido de hidrógeno se mezcla con el agua, se produce su ionización:

$$H_2O_2 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + OOH$$

El agente responsable del blanqueo es el anión OOH^-. La intensidad del blanqueo depende directamente de su concentración, que se puede elevar aumentando la alcalinidad de la concentración. Puesto que el mayor daño para la celulosa se produce cuando el peróxido se aplica en un medio ácido, es muy aconsejable adoptar dos medidas:

a) *Elevar el pH de la solución.* El peróxido de hidrógeno ofrece los mejores resultados blanqueadores cuando su pH oscila en torno a 8. Este pH se puede obtener añadiendo unos pocos mililitros de amoníaco a la solución.

b) *Desacidificar el papel* antes de la aplicación del peróxido de hidrógeno.

La desacidificación contribuye también a paliar el principal problema de este blanqueador: su sensibilidad ante los efectos catalizadores de ciertos iones metálicos (Fe^{+++}; Mn^{++}; Cu^{++}) que suelen estar presentes en el papel en mayor o menor medida, y que originan el deterioro localizado e intenso de la celulosa circundante. Algunos autores recomiendan la aplicación subsiguiente de un agente reductor, como el borohidruro de sodio, para evitar el amarilleo posterior y mejorar la estabilidad del color a largo plazo.

8. PROTOCOLOS DE USO

El uso de uno u otro sistema de blanqueo depende fundamentalmente del tipo de papel y del grado de blanqueo que se pretenda alcanzar. En general, el uso de blanqueadores oxidantes se considera negativo para la permanencia del papel, por lo que su empleo debe limitarse a ocasiones en las que ello sea imprescindible. El borohidruro de sodio, por el contrario, parece producir efectos positivos, por lo que puede emplearse con mayor libertad. Por ello, el borohidruro de sodio constituye la primera elección para blanquear un papel. Desgraciadamante, su efecto blanqueador es muy limitado en comparación con los blanqueadores oxidantes. Si el blanqueo obtenido no es suficiente, o si el restaurador prevé su insuficiencia, se puede recurrir a procesos de oxidación, por ejemplo, mediante el uso de hipocloritos de sodio o de calcio. Según sugieren algunos investigadores de prestigio, el primero produce buenos resultados en el caso de papeles sin lignina; el segundo es más adecuado en el caso de papeles con lignina; el peróxido de hidrógeno, por otro lado, puede ser adecuado en ambos casos, y especialmente en el caso de pastas de madera. El tratamiento debe darse por concluido después de aplicar el blanqueador oxidante elegido, incluso aunque no se hayan obtenido los resultados esperados: es improbable que el papel pueda llegar a blanquearse más, mientras que es casi seguro el deterioro irreversible que ello podría causar al papel (ilustraciones 5 y 6).

Los blanqueadores puede aplicarse en baño, pero también localmente, mediante pinceles, hisopos, u otros procedimientos similares. En cualquier caso, es necesario realizar la neutralización de igual modo. Esta forma de aplicar los blanqueadores es muy delicada; es necesario conocer suficientemente la intensidad del blanqueo, sus lapsos de tiempo, hasta qué punto se puede detener, cómo se altera el color resultante por efecto de la humedad, etc. De otra forma, es muy fácil producir un blanqueo insuficiente o excesivo, que resulta visualmente muy poco agradable.

Se debe insistir en que los blanqueadores pueden afectar a las materiales gráficos. En particular, los blanqueadores oxidantes pueden afectar muy notablemente a los tintes y a los pigmentos basados en tintes, decolorándolos (ilustraciones 7 y 8). Estos materiales son muy frecuentes en acuarelas y en imágenes impresas, pero el efecto puede también ocurrir en otros materiales. El blanqueo de los materiales gráficos es muy difícil de prever, pero afortunadamente, suele producirse de forma moderadamente lenta. Por ello, habitualmente se pueden evitar daños importantes manteniendo una atenta vigilancia del proceso e interrumpiéndolo en caso necesario. Para prevenir esta posibilidad, es imperativo que el restaurador haya preparado con antelación tanto el baño de blanqueo como el de

ILUSTRACIÓN 5. Una selección de productos habitualmente empleados en el blanqueo del papel. De izquierda a derecha, un frasco con borohidruro de sodio, hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno y tiosulfato de sodio (al que también se denomina hiposulfito de sodio y que se emplea como neutralizador de los hipocloritos); el bote de plástico que aparece detrás de las botellas contiene hipoclorito de calcio.

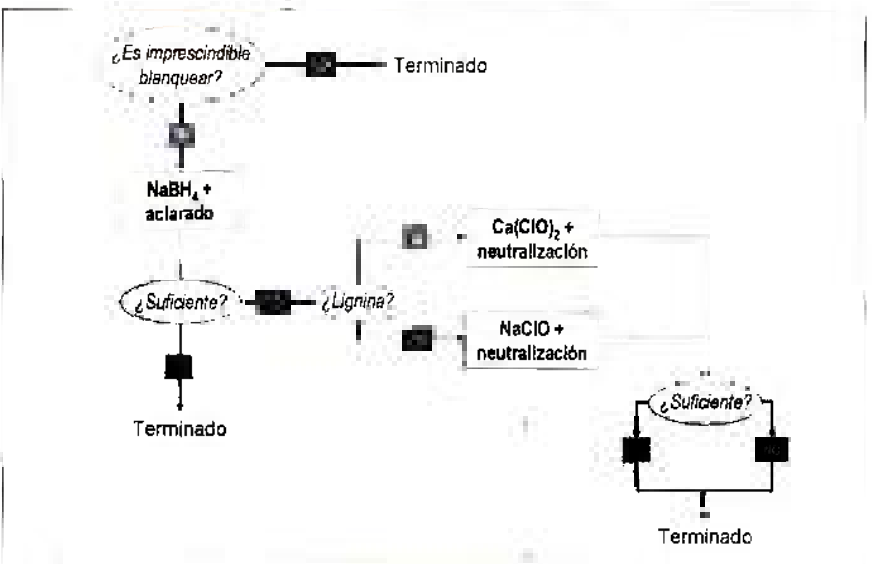
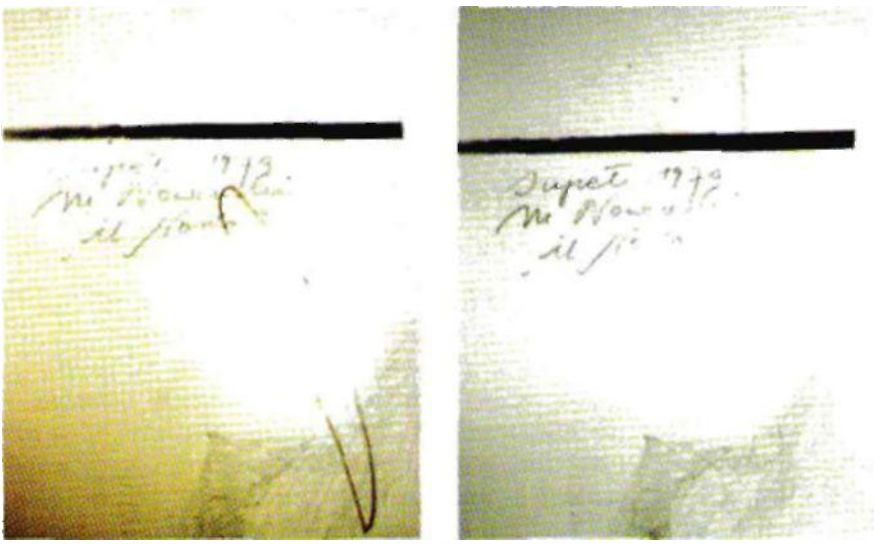


ILUSTRACIÓN 6. Un protocolo recomendado para el blanqueo del papel.

neutralización. Aun así, el restaurador debe tener presente que el proceso de blanqueo sigue produciéndose después de extraer el documento del baño de blanqueo. Los neutralizadores, o el aclarado, requieren un lapso de tiempo hasta que detienen el blanqueo.

El carácter oxidante y el pH alcalino de algunos blanqueadores puede también acelerar la disolución de ciertos materiales, que en otras circunstancias serían más resistentes a la acción del agua. En definitiva, el blanqueo supone un riesgo añadido para la obra restaurada. Para minimizar ese riesgo, la experiencia del restaurador y su capacidad para detectar a tiempo síntomas de blanqueo de tintas o disolución de materiales, son elementos cruciales.



ILUSTRACIONES 7-8. Un ejemplo de aplicación local de un blanqueador. En este caso, el dibujo de una artista contemporánea había sido rayado con rotulador y posteriormente raspado para intentar la eliminación de la raya. La aplicación de una solución de hipoclorito de sodio permitió la eliminación de la raya. Esto era algo en cierta medida previsible, porque la tinta de rotulador, siendo generalmente un tipo de tinte, es a menudo muy sensible a los agentes oxidantes.

CAPÍTULO 15

LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA

1. ¿CONSERVACIÓN PREVENTIVA O INDIRECTA?

Todas las formas de conservación son preventivas: todas intentan mantener el objeto en su estado actual, intentando evitar las alteraciones que en el futuro se puedan producir. En este sentido, todas las formas de conservación previenen las alteraciones venideras. Pero cuando en el campo de la conservación y restauración se habla de «conservación preventiva» se está hablando de todas aquellas operaciones de conservación que intervienen exclusivamente sobre el entorno del objeto que se pretende conservar; es decir, de aquellas formas de conservación en las que no se toca el objeto. Por ello, es cada vez más frecuente el empleo de expresiones como «conservación ambiental» o «conservación indirecta» para describirlas.

Este tipo de actuaciones son menos llamativas que otras formas de conservación, y desde luego mucho menos llamativas que cualquier forma de restauración. De hecho, la mejor medida de su éxito sería precisamente que no hubiese ninguna alteración en los objetos, es decir, que no se notase nada en ellos. Por otro lado, sus resultados se producen a largo plazo, por lo que su rentabilidad para quienes deciden sobre ello no siempre es evidente o políticamente aprovechable. Sin embargo, la conservación indirecta cada vez merece más atención entre los restauradores. Evitar el deterioro es sin duda la mejor forma de conservar los objetos, porque no existe el trabajo de conservación y restauración perfecto: al igual que ocurre con los fármacos o con las intervenciones quirúrgicas, siempre hay algún riesgo o contraindicación. La conservación indirecta, por el contrario, está libre de este tipo de problemas, y también de otros problemas de tipo ético.

La conservación indirecta es una disciplina en sí misma, de la que podría escribirse un voluminoso tratado sin agotar el tema; pero éste es un libro de restauración: lo que se ofrece en este capítulo es una aproximación a esta cuestión crucial, que debe servir para que la persona interesada se acerque a algunos de los excelentes libros que se han escrito sobre el tema.

2. PRINCIPALES FACTORES EN CONSERVACIÓN PREVENTIVA

La conservación preventiva implica el control de un amplio número de factores, tanto de tipo físico (como la temperatura o la iluminación), como de seguridad (como la prevención de robos o incendios) o de acceso (como las normas de uso de los documentos de un archivo o de proximidad del público a un grabado). La variedad de factores y circunstancias puede ser muy amplia, y es aquí imposible estudiar todas las variantes. Sin embargo, hay algunos factores de más sencilla sistematización y que son generalmente considerados como muy relevantes para la conservación de un objeto: temperatura, humedad relativa e iluminación.

Otro factor que durante mucho tiempo ha sido considerado como importante es la contaminación atmosférica. Sin embargo, en la actualidad este factor resulta habitualmente incontrolable; es decir, que con los sistemas actualmente disponibles, no se considera viable aislar una colección del entorno atmosférico existente en su ciudad. Ciertamente, sería técnicamente posible aislar un objeto de tamaño relativamente pequeño en una cápsula estanca con una atmósfera inocua, pero el altísimo coste que esto supone hace que sólo se recurra a este sistema en casos muy excepcionales (como por ejemplo, el de la Sábana Santa de Turín o el de la Declaración de Independencia de los Estados Unidos). Así pues, la contaminación atmosférica, aunque se reconoce como una fuente de alteraciones, no es considerada como un factor habitualmente modificable en el ámbito la conservación preventiva.

3. TEMPERATURA

La temperatura, por el contrario, sí puede ser modificada de forma relativamente sencilla, mediante sistemas de calefacción o refrigeración. La importancia de este factor en la degradación de los objetos es muy importante. La velocidad de las reacciones químicas se multiplica con el aumento de la temperatura, por lo que su control puede reducir mucho el deterioro químico de los objetos. Este tipo de daño es muy característico de los materiales orgánicos, como la madera, el papel, las telas, los barnices, los aglutinantes o ciertos tipo de colorantes, los cuales se beneficarían notablemente de una reducción de la temperatura. En el caso del papel, por ejemplo, se considera que un aumento de 5 °C duplica la velocidad de las reacciones de deterioro. Por ello, mantener la temperatura dentro de unos márgenes moderados puede servir para limitar notablemente ciertos tipos de degradación.

4. LA HUMEDAD RELATIVA

La humedad es también un factor importante en el deterioro de los objetos, por tres motivos. El agua es un componente crucial en muchas reacciones químicas, cuya presencia las hace posibles en muchos casos. Además, muchos compuestos pueden disolverse en el agua presente en la atmósfera, y ser transportados en este estado hasta entrar en contacto con el papel, donde pueden iniciar o favorecer combinaciones químicas que de otra forma no podrían realizarse. Por otro lado, la presencia de altas dosis de humedad acelera reacciones que de otra forma requerirían una cantidad de tiempo mucho mayor para verificarse.

Por supuesto, la humedad de la que se habla aquí no es la que se halla en estado líquido, sino el vapor de agua que se halla en la atmósfera en la que se encuentra el objeto. En su expresión más sencilla, la humedad ambiental se mide expresando la cantidad de agua evaporada que contiene un volumen determinado de aire, generalmente un metro cúbico. Podríamos hablar entonces de «x mililitros de agua por metro cúbico». Esta medida se denomina «humedad absoluta». Así, a temperaturas normales (c. 20°C) la humedad absoluta suele oscilar entre 10 y 20 ml por metro cúbico.

En teoría, cuanto mayor sea la humedad absoluta (es decir, cuanta más cantidad de agua haya en el aire), más agua se combinará con el papel, y más intensos serán los efectos descritos arriba. Sin embargo, en la práctica esta medida no resulta útil, porque se ha comprobado que a igual cantidad de agua en el aire (es decir, a igual humedad absoluta), el agua se combina más fácilmente con el papel (y de hecho con cualquier otro material) en ambientes fríos que en ambientes cálidos. Es decir, que la intensidad del efecto que la humedad causa sobre los objetos no sólo depende de la cantidad absoluta de agua presente en el aire, sino también de la temperatura ambiente.

Para reflejar esta circunstancia, se ha creado el concepto de «humedad relativa» o HR. Técnicamente hablando, la humedad relativa es la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera a una temperatura determinada respecto a (en relación con) la máxima cantidad de agua que podría llegar a tener a esta misma temperatura. Esta relación se expresa porcentualmente, asignando al valor máximo el número 100.

De hecho, la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener es limitada: si ese límite se alcanza, el agua se condensa formando gotas. Cuando esto ocurre, la HR alcanza el 100 por 100, pero lo normal en la mayor parte de entornos son valores de humedad relativa que oscilan entre el 30 y el 80 por 100. En realidad, la humedad relativa atmosférica tiende a autoequilibrarse: cuando la temperatura sube, la HR baja, el aire es más seco, y como consecuencia favorece la evaporación del agua del

suelo, de las plantas, de los lagos, etc., lo que a su vez tiende a elevar la HR. Y lo contrario ocurre cuando la temperatura baja. Pero ese equilibrio tarda en producirse, lo que provoca oscilaciones en la humedad relativa. En la práctica, este mecanismo de equilibrio tarda más en verificarse en recintos cerrados, por lo que en estos casos las oscilaciones en la HR pueden llegar a ser aún más acusadas.

Las oscilaciones en la humedad relativa son más importantes para la conservación de los bienes culturales que la humedad absoluta propiamente dicha, porque como se ha visto, la humedad relativa expresa la capacidad del agua presente en la atmósfera para combinarse con los objetos con los que esté en contacto, provocando las diversas reacciones que veíamos arriba. La humedad absoluta, por el contrario, tiene una importancia comparativamente secundaria, y por ello es habitualmente ignorada en la conservación preventiva.

5. LAS RADIACIONES LUMINOSAS

La luz es un conjunto de radiaciones que se caracteriza esencialmente porque hay una especie animal (el *homo sapiens sapiens*) cuyos ojos pueden percibirla. Esta interpretación es indudablemente antropocéntrica, pero al menos nos ha permitido establecer unos límites bastante precisos, según los cuales la luz es el conjunto de las radiaciones que tienen una longitud de onda comprendida entre los 380 y los 700 nanómetros. Sin embargo no hay ninguna otra razón objetiva para diferenciar entre, pongamos por caso, las radiaciones de 400 nanómetros y las de 300 nanómetros; si la evolución natural hubiese permitido que otras especies pudieran estar discutiendo sobre estos temas, su concepto de luz podría ser distinto al nuestro, porque muchos animales tienen capacidad para percibir unas longitudes de onda que a nosotros nos resultan invisibles. Las abejas, por ejemplo, pueden ver esas radiaciones de 300 nanómetros que a nosotros nos resultan invisibles, y que de hecho sólo se distinguen de la luz porque nosotros, el *homo sapiens sapiens* (que al fin y cabo somos los que estamos estudiando el tema), no podemos verlas. A las radiaciones cuya longitud de onda está inmediatamente por encima o por debajo de la luz visible las llamamos infrarrojas o IR (si su longitud de onda es mayor de lo que podemos ver) o ultravioletas o UV (si su longitud de onda es menor de lo que podemos ver).

Las radiaciones IR, UV y la luz son, como todas las radiaciones, formas de energía. Cuando impactan sobre algún cuerpo, esa energía puede ser reflejada o absorbida, pero si es absorbida debe transformarse en energía de otro tipo. Muchas veces la nueva energía es de tipo químico; por

ejemplo, cuando incide sobre las plantas, la energía que transmiten las radiaciones solares hace que se formen hidratos de carbono a partir del dióxido de carbono y del agua, mientras que los rayos UV sobre nuestro cuerpo transforman el ergosterol en vitamina D (y si la exposición es excesiva, puede alterar las cadenas de ADN de modo que se produzcan mutaciones genéticas que a veces degeneran en lo que llamamos cáncer de piel). También los objetos inanimados reaccionan ante estas radiaciones; si estas reacciones son importantes, suelen producir alteraciones que nosotros consideramos habitualmente como *deterioro*. Para evitar este deterioro es importante mantener estas radiaciones dentro de un margen aceptable. Estos márgenes se establecen cuantificando las radiaciones en distintas unidades. Las más habituales son el lux, el lumen, y la candela. El lux es la medida de la iluminancia, y equivale a 1 lumen por 1 metro cuadrado. El lumen es una medidad del flujo luminoso, y equivale a la cantidad de luz emitida en un segundo en un ángulo sólido de un estereoradián por una fuente de luz con una intensidad de 1 candela. A su vez, la candela es unidad de intensidad luminosa, y técnicamente equivale a la intensidad luminosa de una fuente que emite en una dirección radiación monocromática de 540×10^{12} Herzios con una intensidad radiante en esa dirección de 1/683 wattios por estereodián. Podría decirse que la candela expresa la *intensidad* de la fuente de luz, mientras que el lumen expresa la *cantidad* de luz emitida en una cantidad de tiempo. El lux, por el contrario, indica la cantidad de luz *recibida* por una superficie. Las medidas de iluminancia (los luxes) suelen resultar más interesantes porque indican la cantidad de energía luminosa recibida por el objeto; mientras que las candelas y los lúmenes tan sólo informan sobre la intensidad y cantidad de luz emitida por la fuente luminosa, cuyos efectos sobre los objetos pueden verse condicionados por muchas circunstancias: distancia del objeto, interposición de cristales, ángulo de incidencia, etc.

6. SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

Existen diversos sistemas de monitorización de los factores ambientales descritos arriba. La temperatura puede ser conocida de forma cómoda y fiable mediante termómetros de mercurio. Las radiaciones luminosas y ultravioleta se miden mediante luxómetros de sencillo manejo. Igualmente, la humedad relativa puede ser conocida mediante un aparato simple llamado psicrómetro, basado en el mismo principio que el termómetro de mercurio. Existen además hojitas termométricas e higrométricas que indican la temperatura o la humedad relativa mediante cambios de color. Es-

tos dispositivos son cómodos y baratos, pero carecen de la precisión propia de los termómetros o psicrómetros tradicionales.

ILUSTRACIÓN 1. El uso del termohigrómetro digital es muy sencillo, porque ofrece una lectura directa e instantánea de los datos.

En la actualidad, sin embargo, se ha generalizado el uso de aparatos electrónicos que permiten medir la temperatura y la humedad relativa con la simple pulsación de un botón. Entre sus ventajas, por lo tanto, cabe destacar la comodidad; pero también la posibilidad de instalar sondas de muy diversos tipos, que permiten la medición en lugares generalmente poco accesibles: con las distintas sondas podemos por ejemplo conocer la temperatura y la humedad relativa existentes en el interior del estuche de un libro, o detrás de una estrecha vitrina. Entre las desventajas de estos aparatos podemos señalar la necesidad de realizar un calibrado periódico que puede no ser sencillo.

Un aparato que mide la temperatura y la humedad relativa (un psicrómetro, una sonda electrónica, etc.) se denomina «termohigrómetro». Pero si además registra esos valores, de forma que luego puedan ser consultados y estudiados, el aparato es un «termohigrógrafo». Los termohigrógrafos más típicos consisten en un cilindro sobre el que se mueven dos brazos marcadores que oscilan en función de la temperatura y la humedad (ilustración 2). El cilindro es giratorio, y se mueve lenta y constantemente, de forma que sobre él se trazan dos líneas correspondientes a los valores de temperatura y hume-

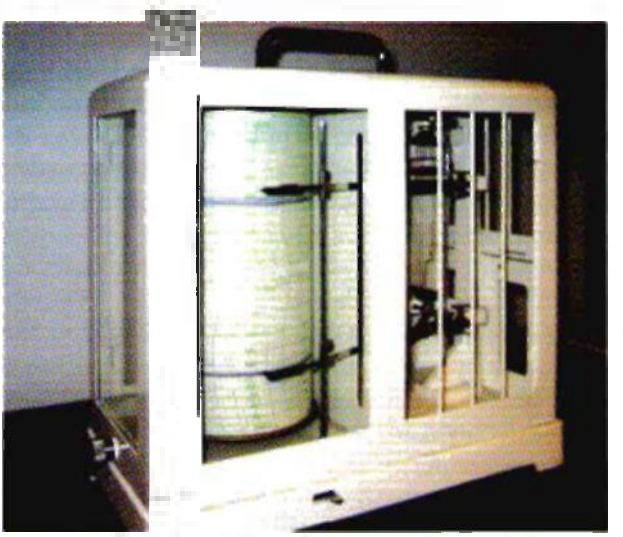


ILUSTRACIÓN 2. Un termohigrógrafo clásico de tambor. Estos aparatos están siendo desplazados progresivamente por los sistemas electrónicos, pero siguen ofreciendo una alternativa segura y fiable para conocer la evolución de la temperatura y humedad relativa de un recinto.

dad relativa. Estas líneas forman una gráfica cartesiana en la que sobre el eje horizontal se representa el tiempo, y sobre el eje vertical los valores ambientales.

Estos termohigrógrafos tienen ciertas desventajas: el papel que rodea los tambores debe ser retirado periódicamente y sustituido por hojas nuevas. Además, deben ser calibrados regularmente, son relativamente voluminosos, y los impactos o el movimiento pueden reducir notablemente su precisión. En parte debido a ello, en la actualidad está cada vez más extendido el uso de sondas electrónicas. Estas sondas son generalmente de pequeño tamaño (similar o inferior al de una moneda) y son muy ligeras y resistentes. Pueden fijarse con simple cinta adhesiva, y funcionan conectadas a un centro de control. De hecho, es frecuente conectar un número amplio de estas unidades a un único ordenador central que no necesita ser especialmente sofisticado. De este modo, es posible programar una serie de acciones de respuesta; si por ejemplo se detecta una bajada anormal de temperatura en una sala determinada de un museo, un simple programa puede ordenar la conexión de los sistemas de calefacción en esa sala, de forma inmediata, y la oportuna desconexión cuando se restablezcan los valores previstos.

Otra forma de registrar la temperatura y la humedad consiste en el empleo de *loggers* autónomos. Estos aparatos son sensores con un sistema de memoria incorporado que funcionan mediante una batería, y que pueden intercambiar información con un ordenador a través de un cable. Así, los *loggers* pueden programarse para comenzar el registro en un momento determinado, y para registrar la temperatura y la humedad relativa en intervalos predeterminados (cada hora, cada media hora, cada cinco minutos, etc.) durante el tiempo que establezca el usuario. El funcionamiento de estos aparatos es sencillo. Simplemente se colocan en la ubicación prevista, y periódicamente se recogen para conectarlos a un ordenador, al que vuelcan toda la información recogida, que puede entonces ser representada mediante cifras o diagramas. Su pequeño tamaño (no mayor que el de un paquete de cigarrillos) permite su ubicación discreta en lugares de exhibición, o en lugares más pequeños, como armarios, cajones, etc. Los *loggers* son además relativamente insensibles al movimiento, por lo que pueden incluirse en el interior de los embalajes, junto a los objetos de conservación que van a ser transportados a otros lugares. De esta manera, se puede comprobar si las variaciones en las condiciones ambientales son o no realmente drásticas; se puede saber, por ejemplo, si el aislamiento de la obra ha sido realmente efectivo durante un viaje en la bodega de un avión, o si la humedad relativa ha aumentado de forma peligrosa en el interior de un cajón estanco. A estos efectos, se dispone incluso de *loggers* preparados para detectar y calibrar los posibles impactos que reciban las obras contenidas en los embalajes. Estos aparatos constituyen un testigo

mudo y fiable de las posibles alteraciones a las que se ven sometidas las obras de arte y otros objetos de conservación en circunstancias en que de otra manera resultaría imposible.

ILUSTRACIÓN 3. Un *data-logger* termohigrométrico. Este aparato funciona autónomamente, y registra los datos de temperatura y humedad relativa a intervalos preestablecidos. Después, los datos se descargan en el ordenador para su análisis.

7. MODIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Cuando las condiciones de temperatura y humedad no son consideradas adecuadas, se puede intentar su modificación. En espacios reducidos y cerrados (un cajón, una vitrina, un embalaje) esto se puede conseguir de manera relativamente sencilla mediante materiales higroestabilizantes basados en el gel de sílice (Art-Sorb, Raphid Gel, Arten, etc.), que absorben el agua de la atmósfera. Sin embargo, en el caso de espacios mayores (depósitos, salas de consulta, salas de exposición) esto no es tan sencillo como puede parecer. La tecnología de climatización actualmente disponible tiene ciertas limitaciones, a pesar de que el entusiasmo de los técnicos y vendedores involucrados en su comercialización pudiera llevarnos a pensar lo contrario. Los sistemas necesitan un mantenimiento que a veces puede ser demasiado oneroso, o exigir operaciones de mantenimiento frecuentes; su eficacia y fiabilidad está condicionada a factores externos como el suministro constante de energía, o la disponibilidad inmediata de personal técnico y de suministros de repuesto.

Comparativamente, los sistemas más fiables son los de calefacción y humectación, y los más problemáticos los de refrigeración y desecación ambiental. La calefacción se puede lograr mediante diversos sistemas suficientemente experimentados; y la humectación puede llevarse a cabo sencillamente mediante la producción de vapor de agua (más recientemente, también mediante la pulverización por ultrasonidos, que posee la

ventaja de no calentar el vapor). Sin embargo, la refrigeración (lo que vulgarmente se conoce como «aire acondicionado») presenta ciertos problemas técnicos. En resumen, es complejo mantener una refrigeración continua; pero además, los aparatos producen una importante alteración de la humedad relativa, que es potencialmente dañina para muchos tipos de objetos, y que debe ser evitada. A este respecto, es difícil enfatizar en exceso la necesidad de realizar meticulosas instalaciones y de emplear sistemas perfectamente comprobados y seguros. A diferencia de lo que ocurre en nuestras casas, cuando hablamos de objetos de conservación y restauración, un error simplemente no es tolerable: unas gotas pueden bastar para arruinar un conjunto de legajos o una pintura al *gouache*. En estos casos no basta con resignarse, recoger el agua con el mocho y avisar al técnico del servicio oficial: el daño puede ser irreversible, de forma que es difícil exagerar los riesgos que pueden representar este tipo de sistemas, especialmente cuando lo que se ha de acondicionar son grandes recintos.

Por ello, aunque durante mucho tiempo se ha tendido a confiar plenamente en las posibilidades de la técnica para dominar el medio ambiente, en la actualidad se está produciendo una vuelta a los principios más sencillos, potenciando los sistemas ambientales basados en el aislamiento de los recintos y la ventilación natural, antes que los sistemas basados en la aplicación de tecnologías de acondicionamiento artificial. Se incide no tanto en los sistemas de *corrección* de condiciones ambientales erróneas como en los sistemas basados en la *prevención* de condiciones ambientales erróneas; es decir, se intenta evitar que se produzcan las condiciones inadecuadas, en lugar de simplemente intentar corregirlas mediante la aplicación de fuerza bruta tecnológica. En este sentido, la planificación adecuada del contenedor (sea éste una vitrina, un armario, un edificio o un embalaje) se considera en la actualidad el mejor sistema de control ambiental. Así, el estudio de los volúmenes, de los sistemas de ventilación pasiva, de los aislamientos, de las orientaciones o de las ubicaciones está adquiriendo una importancia cada vez mayor. Existe, por así decirlo, una concepción ecológica del control de las condiciones ambientales que disfruta de una aceptación creciente.

Sin embargo, esta regla no se cumple en el caso de la iluminación. Las radiaciones solares constituyen la mejor forma de iluminación desde el punto de vista de la ecología y del espectador, pero por desgracia contienen una amplia gama de radiaciones cuya incidencia puede resultar altamente nociva para muchos objetos. El problema es especialmente acusado en el caso de obras que permanecen expuestas a la luz de forma continuada, como las pinturas o los dibujos exhibidos en un museo. Para evitarlo, se han desarrollado materiales filtrantes que en teoría absorben este tipo de radiaciones. En la práctica, sin embargo, esa absorción no es completa en absoluto, por lo que no se puede confiar totalmente en esta solución.

En realidad, y hablando exclusivamente desde el punto de vista de la conservación de los objetos, el sistema de iluminación idóneo sería aquel que no aportase ninguna energía, es decir, la oscuridad total. Sin embargo, en el caso de los documentos u obras de arte, esto sólo es posible cuando los objetos están almacenados; cuando estos objetos deben ser usados (es decir, cuando van a ser expuestos o consultados) es necesario que sean expuestos a una cierta cantidad de radiaciones luminosas. Para estos casos, se considera que las fuentes de luz idóneas son aquellas que contienen pocas radiaciones ultravioleta, como es el caso, por ejemplo, de las velas o las lámparas eléctricas de filamento de tungsteno (aquellas que producen luz mediante el calentamiento de un filamento, las típicas bombillas). Por el contrario, la luz producida por los tubos fluorescentes y, muy especialmente, la luz natural son comparativamente dañinas, aunque de hecho puedan ser preferidas por los espectadores por su mayor blancura. Ello plantea un dilema a la hora de establecer las condiciones de conservación, porque es necesario escoger entre la satisfacción del espectador y la integridad del objeto.

8. FUNCIÓN *VERSUS* CONSERVACIÓN

El dilema que representa el empleo de una fuente de luz u otra es representativo del problema general que supone la conservación de objetos y que podemos denominar «el dilema función *versus* conservación». En efecto, la conservación de los objetos se opone sistemáticamente a su uso. Las mejores condiciones de conservación incluirían, por ejemplo, su reclusión en recintos cerrados y oscuros, donde ningún tipo de radiación contribuyese a su deterioro. Sin embargo, esto impediría que cumpliesen con la función que se espera de ellos, y que, entre otras cosas, ha determinado su conservación. *La maja vestida*, por ejemplo, se conservaría mejor en un cuarto oscuro, alejada de las radiaciones luminosas que contribuyen a amarillear algunos de sus componentes, y del riesgo potencial que supone el ingente número de personas que circulan diariamente junto a esta pintura. Pero esto impediría que cumpliese su función (ser contemplada), por lo que se opta por una solución que desde un punto de vista exclusivamente material o técnico no es idónea. Con las obras de arte y documentos en papel ocurre exactamente lo mismo. Alcanzar un compromiso adecuado entre función y conservación es sin duda el mayor reto de la conservación preventiva.

9. LAS CONDICIONES IDEALES DE CONSERVACIÓN

Encontrar un equilibrio razonable entre función y conservación implica controlar las condiciones ambientales, pero también, y de forma muy importante, otras circunstancias, como el acceso y manipulación de los objetos. Así, el establecimiento de normas adecuadas de limpieza, de restricciones y controles de acceso, de reglas básicas de manipulación, de planes de actuación para casos de emergencia, y de sistemas de seguridad contra vandalismo, incendio o robo, son también factores cruciales para la adecuada conservación de los objetos. Similarmente, el empleo de mobiliario adecuado, la formación del personal implicado, y la educación del público y/o los usuarios, son de la máxima importancia. En definitiva, la conservación preventiva debe ocuparse no sólo del ambiente físico, sino también del humano. De hecho, el factor humano de deterioro es a menudo mucho más determinante para la pervivencia de los objetos que los factores meramente climáticos.

El público profano tiende a pensar que la conservación preventiva consiste simplemente en aplicar una serie de condiciones ambientales que están incontestablemente establecidas. Pero la realidad es muy distinta. Las condiciones climáticas ideales no siempre (en la práctica, casi nunca) son aplicables; y por añadidura, estas condiciones ideales son muy distintas según los distintos materiales a los que se apliquen, y, de hecho, también según los distintos investigadores que las establezcan. En realidad, las condiciones climáticas ideales para la práctica totalidad de los objetos podría definirse así: la temperatura estable más baja posible, la luz más escasa posible, y una humedad relativa lo más estable posible en torno al 40 ó 50 por 100. Por facilitar unas cifras que sirvan como punto de orientación, se podría recomendar temperaturas estables en torno entre los 18 y 20 °C para depósitos o archivos históricos (y sus salas de consulta), y entre 20 ° y 22 °C para salas de exposición. La iluminación en las salas de exposición debería ser tan baja como fuese posible para permitir el disfrute de las obras (200 luxes suele ser una cifra adecuada, aunque puede incrementarse o disminuirse sensiblemente), y las fuentes de luz deberían emitir la menor cantidad posible de radiaciones ultravioleta.

Sin embargo, se debe insistir en que estos valores son sólo un punto de partida. Las condiciones de conservación más adecuadas en cada caso se deben determinar en función de muchos factores. Lo complejo de determinar esas condiciones radica en dos aspectos: El primero, que ya hemos comentado, en lo complicado que resulta alcanzar un equilibrio entre función y conservación. El segundo, en la dificultad de determinar de forma real y eficaz qué es realmente posible; existen limitaciones tanto técnicas como económicas, y las obras deben poder cumplir la función que se espera de ellas.

ILUSTRACIÓN 4. Un depósito de una biblioteca histórica. Las estanterías metálicas suelen ser preferidas porque son mecánicamente resistentes y no fomentan la proliferación de insectos bibliófagos.

Así, el acondicionamiento de un archivo o museo exige estudiar las condiciones particulares de los objetos a conservar, las necesidades de contemplación, difusión o consulta, y los recursos disponibles, y dictar en consecuencia las recomendaciones idóneas para su conservación. Ello evita un error habitual en estos casos, que consiste en recurrir a normas de conservación de carácter literalmente «ideal», sin atender a las condiciones concretas de cada tipo de documento, de cada clima, de cada política de acceso, etc. Por decirlo de forma gráfica: las normas adecuadas para una biblioteca pública de préstamo en Boston no resultan adecuadas para un archivo histórico de investigación en Sevilla. Igualmente, las condiciones idóneas para una exposición permanente de carteles sobre pasta de madera liginificada pueden no ser las mismas que las de una exposición temporal de acuarelas del siglo XVIII en un museo.

Existe una amplia gama de variables a tener en cuenta, que abarcan desde la disposición de los espacios a la selección del sistema de control climático, pasando por la elaboración de una política de acceso o la elección correcta de contenedores. Como restauradores, la forma habitual de trabajo

ILUSTRACIÓN 5. Un depósito de un centro de documentación mostrando un sistema de estanterías móviles (*compactus*) que permiten un importante ahorro de espacio: cuando se desea acceder a los fondos, las estanterías se desplazan lateralmente, creando un pasillo temporal que permite el paso hasta los documentos.

debería suponer un contacto estrecho con archiveros, bibliotecarios o conservadores de museo para determinar las necesidades de uso y los tipos de material a conservar; con gerentes o directivos, para conocer los recursos de los que dispone la entidad; y en su caso, con arquitectos e ingenieros, para conocer y/o sugerir las condiciones del edificio en que se ubicará el museo o archivo. Es además necesario el estudio de las condiciones climáticas del recinto y del entorno, y el estudio y diagnóstico de los objetos que forman las colecciones. Las recomendaciones de equipamiento (archivadores, estanterías, sistemas de control climático, sistemas de iluminación, sistemas de prevención, sistemas de exposición) deberían incluir recomendaciones concretas sobre modelos y proveedores, establecidas en función de la relación precio/prestaciones, y atendiendo a los materiales a conservar y a las condiciones de uso del museo o archivo. Las medidas referentes a las reglas de comportamiento deben incluir al menos tres puntos básicos:

1. Criterios de acceso del personal
2. Criterios de acceso de los visitantes
3. Normas básicas de manipulación y comportamiento
4. Plan de emergencia

Además, hay muchos aspectos de las instalaciones que pueden tener un impacto importante sobre las obras. Así por ejemplo, y en lo referente a las instalaciones inmuebles, cabe destacar las siguientes:

1. Distribución general y de accesos
2. Aislamientos
3. Sistemas de control climático
4. Sistema antirrobo y antivandalismo
5. Sistema antifuego (sistemas antihumo o contra vapores nocivos)
6. Sistemas de iluminación
7. Sistemas de monitorización

Las instalaciones inmuebles también deben supervisarse cuidadosamente, porque pueden tener un impacto crucial sobre las obras. Incluyen, entre otros, los aspectos siguientes:

1. Sistemas de exhibición
2. Estantes (sistemas de anclaje)
3. Archivadores
4. Armarios
5. Clasificadores
6. Sistemas de almacenamiento a largo plazo

Las ventajas o inconvenientes derivadas de unas condiciones de conservación adecuadas o inadecuadas sólo se perciben a corto plazo en casos extremos. Más habitualmente empiezan a ser percibidas a medio (en cuanto atañe a la funcionalidad del centro y a la comodidad de usuarios y trabajadores) o largo plazo (en cuanto atañe al deterioro del objeto). Corregir esos problemas es siempre mucho más costoso que tomar las decisiones correctas en primer lugar. Por ello, establecer las condiciones idóneas para cada caso es la mejor inversión posible en el campo de la conservación.

10. FUNDAS, ESTUCHES Y SISTEMAS DE EXPOSICIÓN

Afortunadamente, la conservación preventiva no sólo consiste en modificar o controlar las condiciones atmosféricas. Se puede mejorar las condiciones de conservación de un papel sencillamente elaborando fundas o estuches en los que albergarlo. Estas fundas se pueden elaborar con muchos materiales distintos. Las preparadas con papeles de alta estabilidad son una opción excelente (ilustraciones 7 a 9). También se suelen elaborar fundas y estuches con plásticos de polietileno como el Mylar o el Melinex, que aportan la ventaja de ser transparentes y que por lo tanto permiten ver el contenido (ilustración 6). Estos materiales necesitan ser adheridos con cintas adhesivas de doble cara, cuya estabilidad es cuestionable, por lo que frecuentemente se desarrollan diseños que se cierran mecánicamente, sin intervención de adhesivos. Estas fundas suelen ser fabricadas *ad hoc* por el restaurador, pero existen en el mercado una amplia gama de sobres y estuches prefabricados, que simplifican mucho su trabajo.

ILUSTRACIÓN 6. Una funda de polietileno empleada en la conservación de un manuscrito histórico. En este caso, el manuscrito se mantiene en su posición gracias a un sistema extremadamente sencillo y eficaz: las láminas se han unido entre sí mediante fusión en varios puntos, rodeando la

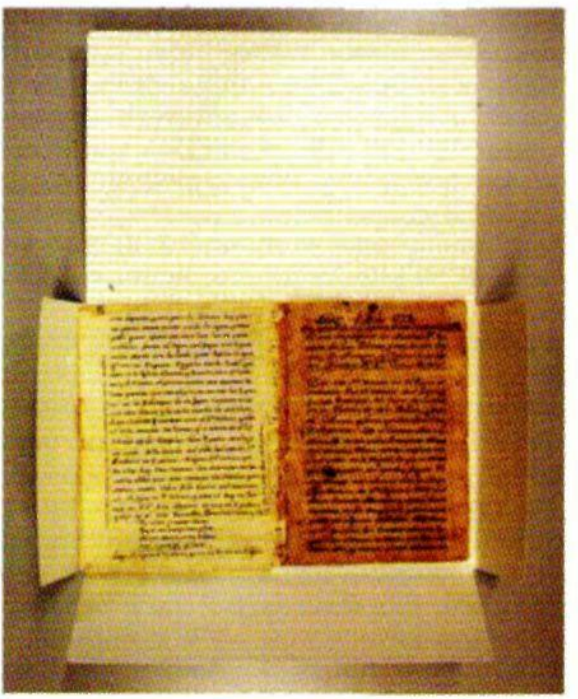


ILUSTRACIÓN 7. Unas fundas de cartón de alta calidad. Ésta es una excelente opción para la conservación a largo plazo de documentos de muchos tipos.

ILUSTRACIÓN 8. En este caso, el conjunto del documento consistía en tres grupos de legajos, que se almacenaron cada uno en una funda distinta.

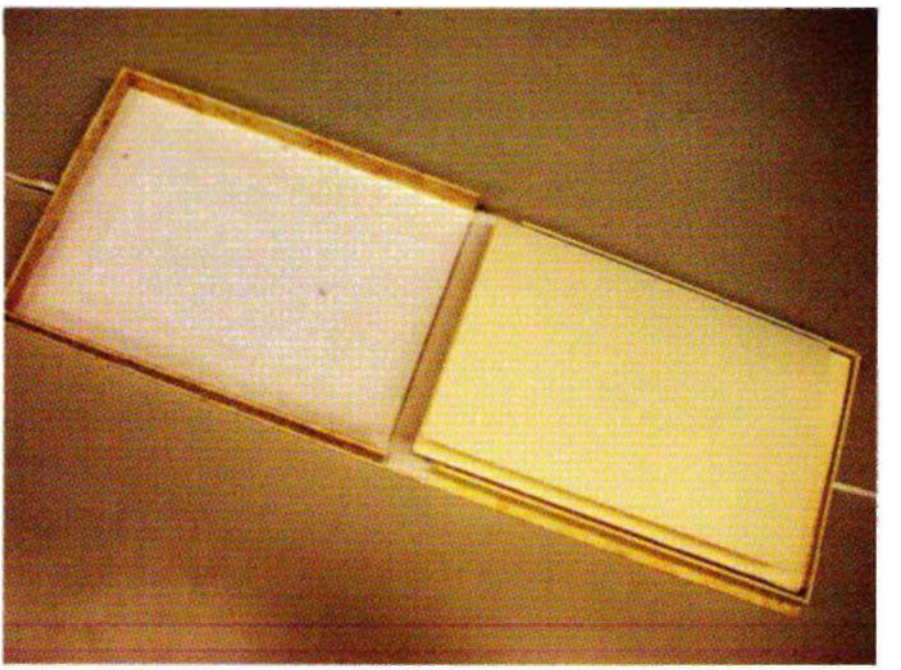


ILUSTRACIÓN 9. A su vez, y por razones de estética y funcionalidad, el conjunto de las tres fundas se almacenaron en una caja.

ILUSTRACIÓN 10. Esta forma de cerramiento hermético aísla el objeto del exterior: cada objeto se envasa con una lámina de aluminio y plástico (en este caso una variedad de la gama Marvelseal), cortada a medida y sellada por calor, de la que se ha extraído la mayor cantidad de aire posible.

ILUSTRACIÓN 11. Los envases que aparecen en la fotografía anterior se conservan a baja temperatura para garantizar su mejor conservación. Este sistema es costoso y hace imposible la consulta de los documentos (que sin embargo han sido previamente digitalizados), pero garantiza su conservación.

ILUSTRACIÓN 12. El montaje de piezas de gran formato puede ser muy complicado. Una solución elegante es fijar la obra a una superficie rígida, y no a telas en tensión. Esta solución suele ser mejor desde el punto de vista de la conservación a medio y largo plazo, aunque es más laboriosa y produce un bastidor más pesado. En la fotografía se observa la cara posterior de un bastidor con superficie rígida.

Para el almacenamiento a largo plazo de piezas delicadas, éstas se pueden cerrar herméticamente en bolsas sin aire (o, para ser más exactos, *con muy poco* aire) (ilustración 10). El volumen mínimo de aire presente hace que el vapor de agua contenido en cada bolsa sea muy pequeño, lo que hace posible su conservación a bajas temperaturas (5-10°C) sin problemas de condensacion de agua (ilustración 11). Estos métodos son muy adecuados para prevenir el deterioro químico de la celulosa, aunque su coste haga imposible su aplicación masiva.

El montaje de las obras para su exposición también es, en sí mismo, un campo de especialización que escapa al alcanza de este libro. Sin embargo, puede ser útil recordar que incluso en el caso de las obras más valiosas suele admitirse la adhesión dc la hoja a un soporte. Así, las hojas se adhieren a las carpetas con *passe-par-tout* mediante bisagras de papel japonés o tela de lino, que a su vez se adhieren a la hoja y a la base mediante almidón o goma arábiga. En el caso de piezas de gran formato, es una práctica común adherir toda la superficie de la hoja a un soporte de tela, que suele montarse sobre un bastidor hueco o macizado (ilustración 12).

También aquí, como ocurre en el resto de los tratamiento, la restauración es, *de facto*, una cuestión de beneficios y perjuicios: los restauradores debemos producir un el máximo beneficio posible (por ejemplo, permitir la contemplación dc la obra), causando el mínimo perjuicio posible (en este caso, la adhesión del papel a una tela montada sobre un bastidor). La relación entre ganancias y pérdidas (estéticas, históricas, patrimoniales) es la que determina la bondad de un tratamiento. Si este libro ha ayudado, aun de manera mínima, a que algún restaurador produzca más ganancias y menos pérdidas, su redacción y su lectura habrán valido la pena.

BIBLIOGRAFÍA

La realización de una bibliografía sobre conservación y restauración del papel es un trabajo ímprobo o imposible, por el mismo motivo por el que no es posible escribir un libro en el que se recojan todos los conocimientos sobre el tema. La cantidad de libros y artículos existentes es tal que no es posible aspirar a establecer un listado de fuentes mínimamente completa. Habida cuenta de estas circunstancias, lo que el lector encontrará a continuación es una pequeña pero sólida selección de textos de muy diversos niveles y ámbitos. Constituyen un punto de partida tan válido como cualquier otro para adentrarse en algunos de los temas más importantes de esta disciplina.

Al margen de los textos citados a continuación, la persona interesada debiera consultar los artículos publicados en revistas especializadas, y las actas de congresos y *meetings* en los que se tratan estos temas. Asimismo, es posible encontrar en Internet una enorme abundancia de información al respecto, y en especial en lo relativo a la conservación preventiva o indirecta; mucha de ella es casi tan fiable como las fuentes que se indican a continuación.

1. Libros recomendados

Antón, P., *Manual de restauración de libros grabados y manuscritos*, Madrid, s.e., 1989.

Un librito sencillo y bien intencionado en el que se describen algunas técnicas de restauración practicadas por su autor (el texto se completó con la publicación al año siguiente de *Láminas para el manual de restauración*). Aunque carezca de toda pretensión científica, la honestidad y claridad con que el autor describe sus técnicas lo hacen muy aconsejable para el principiante.

Copedé, M., *La carta e il suo degrado*, 2.ª ed., Nardini, Florencia,1995.

Una obra de carácter general que constituye un aceptable resumen. Copedé pone énfasis en los aspectos teóricos de nuestro campo, aunque sin olvidar por completo las cuestiones prácticas.

Crespo, L., y Mcleary, J., *El cuidado de los libros y documentos,* Clan Editorial, Madrid, 1997.

Un texto deliciosamente claro y didáctico. Aunque aborda muchos aspectos de la restauración del papel, se centra de modo especial en la conservación pre-

ventiva de libros y documentos, con un enfoque práctico que le confiere un interés especial para el restaurador.

CRESPO, C., y VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel*, París, UNESCO, 1984.

Un magnífico texto sobre las técnicas de restauración del papel. Su claridad y su enfoque eminentemente práctico lo convierte en una obra especialmente valiosa, incluso a pesar del tiempo transcurrido desde su publicación que, inevitablemente, ha dejado obsoletos algunos, no muchos, de sus aspectos. En la actualidad la versión castellana se puede conseguir en formato electrónico. Localizarla en la web puede llevar cierto tiempo, pero merece la pena el esfuerzo.

FEDERICI, C., y ROSSI, L., *Manuale di conservazione e restauro del libro*, Roma, Carocci, 1983.

Un texto sólido y claro, con un enfoque marcadamente práctico. Dedica buena parte de sus páginas a la restauración de encuadernaciones, aunque incluye valiosa información sobre el tratamiento del papel. Las recetas, explicadas con sencillez y claridad, están complementadas por dibujos esquemáticos que resultan de gran ayuda.

KOSEK, J., RAYNER, J., y CHRISTENSEN, B. (eds.), *Art on Paper: Mounting and Housing*, Londres, Archetype, 2005.

Un libro magníficamente ilustrado en el que se recopila una amplia variedad de sistemas para montaje y almacenamiento de piezas de papel. La calidad de las fotografías y textos y la excelente selección de técnicas lo convierten en el mejor libro disponible en este ámbito.

LIENARDY, A., y VAN DAMME, P., *Inter Folia, Manuel de conservatión et de restauration de papier*, Bruselas, Institut Royal du Patrimoine Artistique, 1989.

Una obra de carácter general en la que ciertas técnicas habituales de la restauración del papel se someten a análisis científico riguroso. Los capítulos sobre desacidificación y blanqueo son especialmente intersantes.

MARTIN, G., *Físico-química del papel*, Barcelona, Publicaciones Offset, 1965.

Una excelente obrita, en la que de un modo admirablemente pedagógico y claro se relacionan y explican los principales mecanismos físico-químicos que intervienen en la formación del papel y en su comportamiento posterior.

SÁNCHEZ HERNAMPÉREZ, A., *Prácticas de conservación en bibliotecas*, Madrid, Arco Libros, 1999.

En este libro se describen con excelente rigor y claridad los principios, problemas y soluciones de la conservación preventiva del papel. Aunque, como indica el libro, la obra se centra en materiales bibliográficos, la mayor parte de sus ideas son aplicables a cualquier otro ámbito de la conservación del papel.

SCHWEIDLER, M., *The Restoration of Engravings, Drawings, Books, and Other Works on Paper*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2006.

Traducción inglesa del original alemán publicado en 1938. A pesar del tiempo transcurrido, el texto aporta información de interés. Las notas de los traductores y los anexos incluidos en esta versión contribuyen también a hacer de esta obra un libro verdaderamente recomendable.

VERGARA PERIS, J. V., *Conservación/restauración de material cultural con soporte papel*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1994.

Un texto general de carácter introductorio, en el que se describen algunas prácticas desarrolladas por su autor. Tiene un carácter muy básico, lo que por otro lado la convierte en accesible a un público poco experto.

VIÑAS, V., y VIÑAS, R., *Estudio del RAMP sobre las técnicas tradicionales de restauración*, Paris, UNESCO. 1990.

Es una buena actualización de la magnífica obra de Crespo y Viñas, en la que se resumen los contenidos sobre papel y se amplia la información sobre restauración del pergamino. La UNESCO ofrece en su web el texto completo de esta obra, así como las traducciones inglesa y francesa, de manera completamente gratuita.

ZAPPALÀ, A., *Introduzione agli interventi di restauro conservativo di beni culturali cartace,* Udine, Del Bianco, 1990.

Un libro que combina con acierto los aspectos prácticos y teóricos de la conservación y restauración del papel. Cabe destacar la solvencia de los apartados dedicados a los mecanismos químicos que fundamentan algunas de las operaciones más habituales en nuestro campo.

2. MÁS INFORMACIÓN SOBRE...

Capítulo 1. La restauración del papel. Situación contemporánea

AA.VV., *Preserving the illustrated text: report of the Joint task force on text and image,* Washington, Commission on Preservation and Access, 1992.

COPEDÉ, M., *Il restauro delle opere cartacee: un approccio alle diverse tipologie di oggetti,* Florencia, Istituto per l'Arte e il Restauro Firenze, 1993.

DEPEW, J. N., *A library, media, and archival preservation handbook,* Denver-Oxford: ABC-CLIO, 1991.

FURIA, P., *Storia del restauro librario dalle origini ai nostri giorni,* Roma, Editrice Bibliografica / Istituto Centrale per la Patologia del Libro, 1992.

JAMES, C., CORRIGAN, C., ENSHAIAN, M. C., y GRECA, M. R., *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni antichi,* Florencia, Leo S. Olschki, 1991.

LORUSSO, S., *Caratterizzazione, tecnologia e conservazione dei manufatti cartacei,* s.l., Bulzoni, 1996.

OAKLEY, R., *Copyright and preservation: a serious problem in need of a thoughtful solution,* Washington, Commission on Preservation and Access, 1990.
OGDEN, S. (ed.), *Preservation of library and archival materials: a manual,* Northeast Document Conservation Center, Washington, 1994.
SWATZBURG, S. G., *Preserving library materials: a manual.* 2nd ed., Scarecrow Press, Londres, 1995.
TRINKAUS-RANDALL, G., *Protecting your collections. A manual of archival security*, The Society of American Archivist, Illinois, 1995.

Capítulo 2. Papel, papiro, pergamino

HELLER, J., *Papermaking*, Nueva York, Watson-Gutpill Publications, 1978.
HUNTER, D., *Papermaking. The History and Technique of an Ancient Craft,* Nueva York, Dover, 1978.
MARTIN, G., *Físico-química del papel*, Barcelona, Publicaciones Offset, 1965.
Le papier, 3eme ed., Vendôme, PUF, 1976.
PLOWMAN, J., *The craft of handmade paper: a practical guide to papermaking techniques,* Londres, Apple Press, 1997.
SHANNON, F., *Ideas para crear con papel: Desde técnicas básicas hasta ideas originales*, Madrid, Anaya, D.L. 1991.
WATSON, D., *Cómo hacer papel artesanal: papel hecho a mano con materiales reciclados y componentes naturales*, Madrid, Celeste, 1996.

Capítulo 3. Sistema de fabricación del papel: descripción e historia

BARRETT, T., «Early European papermaking methods 1400-1800», en *The Paper Conservator*, 13 (1989), pp. 7-27.
— *Japanese Papermaking. Traditions, tools, and techniques,* Nueva York, Weatherhill, 1983.
CONSONI, C., «La carta: procedimenti esecutivi», en MALTESE, C., (ed.), *I supporti nelle arti pittoriche. Storia, tecnica, restauro*, vol. 2, Mursia, Milán, 1990, pp. 321-380.
HUNTER, D., *Papermaking. The History and Technique of an Ancient Craft.* Dover, Nueva York, 1978.
MARTIN, G., *Le papier*, 3eme ed., PUF, Vendôme, 1976.
RUDIN, B., *Making Paper. A Look into the History of an Ancient Craft*, Rudins, Vällingby,1990.
VALLS I SUBIRÁ, O., *La historia del papel en España. Siglos X-XIV,* Empresa Nacional de Celulosas, Madrid, 1978.
— *La historia del papel en España. Siglos X-XIV,* Empresa Nacional de Celulosas, Madrid, 1980.

Capítulo 4. Las fibras del papel

DE ROBERTIS, E. P. D., NOWINSKI, W. W., y SÁEZ, F. A., «Composición química de la membrana celular», *Biología molecular*, El Ateneo, Buenos Aires, 1968, pp. 66-71.

GRAFF, J. H., *A color atlas for fiber identification*. The Institute of Paper Chemistry, Applenton (Wis.), 1940.

HENDRY, I. F., y HANSSENS, W. J. H. (eds.), *Pulp, paper and board*, Elsevier, Londres, 1987.

MARECHAL, I., «El enlace hidrógeno», *Mundo científico*, 92 (1989), pp. 608-618.

MARTIN, G., *Físico-química del papel*, Publicaciones Offset, Barcelona, 1965.

RANCE, H. F. (ed.), *Handbook of paper science. Vol. 2*, Elsevier, Amsterdam, 1982.

ROBERTS, J. C. (ed.), *Paper chemistry. 2nd ed.*, Blackie Academic & Professional, Londres, 1996.

SISKO, M., ILVESSALO, P., *Fiber atlas: identification of papermaking fibers*, Springer, Berlin, 1995.

Capítulo 5. Los elementos sustentados

GASCOIGNE, B., *How to Identify Prints. A complete guide to manual and mechanical processes from woodcut to inkjet*, Thames and Hudson, Nueva York, 1986.

GETTENS, R., y STOUT, G. L., *Paintings Materials. A Short Encyclopedia*, Dover, Nueva York, 1966.

GUMÍ, J., y LLUÍS, R., *Diccionari de tècniques pictóriques*, Edicions 62, Barcelona, 1988.

HAYES, C., *Guía completa de pintura y dibujo*, Madrid, Hermann Blume, 1980.

IVINS JR., WILLIAMS M., *How Prints Look. Photographs with Commentary* (edición revisada por Marjorie B. Cohn), Beacon Press, Boston, 1987.

MALTESE, C. (ed.), *Las técnicas artísticas*, Cátedra, Madrid, 1981.

MATTEINI, M., y MOLES, A., *La chimica nel restauro*, Nardini Editore, Florencia, 1989.

MAYER, R., *A Dictionary of Art Terms and Techniques*, Barnes & Noble Books, Nueva York, 1981.

— *Materiales y técnicas del arte*, Edición revisada, Hermann Blume, Madrid, 1994.

MILLS, J. S., y WHITE, R., *The Organic Chemistry of Museum Objects*, Butterworths, Londres, 1987.

PETIT, J., y VALOT, H., *Glossaire des peintures et vernis*, SFIIC, París, 1991.

SMITH, R., *El manual del artista*, Hermann Blume, Madrid, 1991.

VIVES PIQUÉ, R., *Del cobre al papel. La imagen multiplicada. El conocimiento de las estampas*, Icaria, Barcelona, 1994.

Capítulo 6. La alteración del documento

BANKS, P. N., «What makes records deteriorate», *ASHRAE Journal*, April 1999, pp. 71-76.

BÉGIN, P., *et alt.*, «The Impact of Lignin on Paper Permanence. A Comprehensive Study of the Ageing Behaouviour of Handsheets and Commercial Paper Samples», *Restaurator*, 19 (1998), pp. 135-154.

CARTER, H. A., «Chemistry in the Comics. Part 3. The Acidity of Paper». *Journal of Chemical Education*, 66 (1989), pp. 883-886.

DANIELS, V. D., y FLEMING, L. E., «The Cockling and Curling of Paper in Museums», en AA.VV., *Conservation of Historic and Artistic Works* (Proceedings, Ottawa, 1988), Canadian Conservation Insitute, Ottawa, 1994, pp. 155-162.

DANIELS, V., «The discoloration of paper on ageing», *The Paper Conservator*, 12 (1988), pp. 93-100.

ELOVITZ, K. M., «Understanding what humidity does and why», *ASHRAE Journal*, April 1999, pp. 84-90.

FELLER, R. L., SANG B., y CURRAN, M., «Three fundamental aspects of cellulose deterioration», *Art and Archeology Technical Abstracts*, vol. 22, núm.1, Londres, IIC, 1985, pp. 278-337.

GALLO, F., y HEY, M., «Foxing-A new approach», *The Paper Conservator*, 12 (1988), pp. 101-102.

GARG, K. L., GARG, N., y MUKERJI, K. G. (eds.), *Recent Advances in Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. I. Biodeterioration of Cultural Heritage, Naya Prokash, Calcuta, 1994.

HAVERMANS, J. B. G. A., y DUFOUR, J., «Photo Oxidation of Paper Documents. A Literature Review», *Restaurator*, 18 (1997), pp. 103-114.

KOLAR, J., «Mechanism of Autoxidative Degradation of Cellulose». *Restaurator*, 18 (1997), pp. 163-176.

LEE, S. B., BOGAARD, J., y FELLER, R., «Concerning the exposure of paper to light: discoloration of handsheets of known initial lignin and hot-alkali-soluble content», *ICOM Committee for Conservation. 6th Triennal Meeting* (Preprints. Ottawa 1981), Ottawa, ICOM, 1981, 81/14/4.

WESSEL, C., «Deterioration of library materials», en BAKER, J. P., y SOROKA, M. C., *Library conservation. Preservation in perspective*, Stroudsburg, Dowden, Hutchinson & Ross, 1978.

WHITMORE, P., y BOGAARD, J., «Determination of the Cellulose Scission Route in the Hydrolytic and Oxidative Degradation of Paper», *Restaurator*, 15 (1994), pp. 26-45.

Capítulo 7. Introducción a las técnicas de conservación y restauración

MUÑOZ VIÑAS, S., et alt., *Introducción a la conservación y restauración de obras de arte*, Valencia, UPV, 1999.

PASCUAL, E., *Conservar y restaurar papel*, Parramón, Barcelona, 2005.

Capítulo 8. La limpieza del documento

HACKNEY, S., y FAIRBRASS, S., «A high vacuum system for the removal of stains on paper», *The Conservator*, 4 (1980), pp. 1-4.

MISHUZIMA KEYES, K., «Alternatives to Conventional Methods of Reducing Discoloration in Works of Art on Paper», *The Book and Paper Group Annual Vol.2*, Washinton DC, BPG of the AIC, 1984, pp. 100-104.

PETUCHOVA, T., «Removal of Varnish from paper artifacts», *The 1992 Book and Paper Group Annual*, Washington DC, BPG of the AIC, 1992, pp. 136-140.

SMITH, M. A., *et alt.*, «Pressure-sensitive tape and techniques for its removal from paper», *The Book and Paper Group Annual*, vol.2, Washinton DC, BPG of the AIC, 1985, pp. 95-113.

SZCZEPANOWSKA, H., y LOVETT, CH. M., «Fungal Stains on paper. Their removal and prevention», en MILLS, J. S., SMITH, P., y YAMASAKI, K. (eds.) *The Conservation of Far Eastern Art* (Preprints, IIC Kyoto Congress, 1998), Londres, IIC, 1998, pp. 13-14.

THORN, A., «Safer solubility», *Studies in Conservation*, 37 (1992), pp. 12-21.

TORRACA, G., *Solubilidad y disolventes en problemas de conservación*, ICCROM, Roma, 1981.

Capítulo 9. Los baños y la humectación

FUTERNICK, R., «Alternative Techniques in Paper Conservation», en AA.VV., *Conservation of Historic and Artistic Works* (Symposium 88, Proceedings, Ottawa 1988), Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1994, pp. 85-92.

HEY, M., «The washing and aqueous deacidification of paper», *The Paper Conservator*, 4 (1979), pp. 66-80.

LIENARDY, A., y VAN DAMME, P., «Paper washing», *The Paper Conservator*, 14 (1990), pp. 23-29.

MUÑOZ VIÑAS, S., «A Dual-Layer Technique for the Application of a Fixative on Water-Sensitive Media on Paper», *Restaurator*, 28 (2006), pp. 78-94.

Capítulo 10. Operaciones de alisado

BRANDT, A. C., y BERTEALD, A. J., «Sechage par microondes pour le restauration de documents de papier en feuille ou en cahier», *Studies in Conservation*, 32 (1987), pp. 14-24.

FUTERNICK, R., «Alternative Techniques in Paper Conservation», en AA.VV., *Conservation of Historic and Artistic Works* (Symposium 88, Proceedings, Ottawa 1988), Ottawa, Canadian Conservation Institute, 1994, pp. 85-92.

LEPELTIER, R., *Restauration des dessins et estampes*, Friburgo, Office du Livre, 1977.

MAXSON, H., «The design of a collapsible humidification chamber», *The Book and Paper Group Annual*, 6 (1987), pp. 85-87.

MISHUZIMA KEYES, K., «The use of friction mounting as an aid to pressing works of art on paper». en *The 1984 Book and Paper Group Annual*, Washington DC, BGP of the AIC, 1984, pp. 101-104.

MUÑOZ VIÑAS, S., «Understanding paper flattening (I). Principles and problems of common flattening techniques», *Arché*, Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, 1 (2006), pp. 145-150.

—«The Impact of conservation pressure-flattening on the dimensions of machine-made paper», *Restaurator*, 30 (2009), pp. 181-198.

SUGARMAN, J. E., y VITALE, T. J., «Observations on the drying of paper: five drying methods and the drying process», *Journal of the American Institute for Conservation*, 31 (1992), pp. 175-197.

Capítulo 11. Reparación de desgarros. Reintegraciones

BLUNN, D., y PETHERBRIDGE, G., «Leaf casting-The mechanical repair of paper artifacts», *The Paper Conservator*, 1 (1976), pp. 26-32.

CRESPO, C., y VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel*, UNESCO, París, 1984.

FUTERNICK, R., «Alternative Techniques in Paper Conservation», en AA.VV., Conservation of Historic and Artistic Works (Symposium 88, Proceedings, Ottawa 1988), Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1994, pp. 85-92.

— «Leaf casting on the suction table», *The 1984 Book and Paper Group Annual*, Washington DC, BGP of the AIC, 1984, pp. 86-99.

— «Methods and makeshift», *The 1984 Book and Paper Group Annual*, Washington DC, BGP of the AIC, Washington DC 1984, pp. 65-74.

HARDING, E., «Restoration of drawings executed on prepared paper», en *The Conservator*, 7 (1983), pp. 24-28.

HUXTABLE, M., y WEBBER, P., «Some adaptations of oriental techniques and materials used in the prints and drawings conservation department of the Victoria and Albert Museum», *The Paper Conservator*, 11 (1987), pp. 46-57.

JAMES, C., CORRIGAN, C., ENSHAIAN, M. C., y GRECA, M. R., *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni antichi*, Leo S. Olschki, Florencia, 1991.

JONES, M., «Traditional repair of archival documents», *The Paper Conservator*, 3 (1978), pp. 9-17.

LECLERC, F., LIEDER, F., BULLE, F., y POURTALÉ, L., «Leaf casting of losses in deteriorated paper», *The Paper Conservator*, 11 (1987), pp. 22-31.

MCAUSLAND, «Facsimile paper repair for work of art on paper», *The Paper Conservator*, 3 (1978), pp. 28-31.

MCMULLEN, O., «Paper repair in older printed books», *The Paper Conservator*, 3 (1978), pp. 18-27.

VIÑAS, V., y VIÑAS, R., *Estudio del RAMP sobre las técnicas tradicionales de restauración*, UNESCO, París,1990.

Capítulo 12. La desacidificación del papel

BANSA, H., «Aqueous deacidification —with Calcium or with Magnesium?», *Restaurator*, 19 (1998), pp. 1-40.

BOGAARD, J., y WHITMORE, P. M., «Effects of Dilute Calcium Washing Treatments on Paper», *Journal of the American Institute for Conservation*, Vol. 40, n.º 2 (Summer, 2001), pp. 105-123.

BUISSON, N., «Les principaux procédés de désacidification de masse: situation en 2004», *International preservation news*, 39 (2006), pp. 14-19.

STAUDERMAN, S. D., BRÜCKLE, I., y BISCHOFF J. J., «Observations on the Use of Bookkeeper® Deacidification Spray for the Treatment of Individual Objects», *The Book and Paper Group Annual*, 15 (1996), pp. 127-143.

Capítulo 13. Técnicas de refuerzo y laminación

BANSA, H., y ISHII, R., «What Fiber for Paper Strentghtening?», *Restaurator*, 20 (1999), pp. 198-224.

BURSTALL, M. L., BUTLER, C. E., y MOLLETT, C. C., «Improving the properties of paper by graft copolymerization», *The Paper Conservator*, 10 (1986), pp. 95-100.

COHN, M. B., «A hazard of float washing: regeneration of papersizing», *The 1984 Book and Paper Group*, Washington DC, BGP of the AIC, 1984, pp. 31-43.

CRESPO, C., y VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel*, UNESCO, París,1984.

HENRY, W., «Resizing following aqueous treatment: current American practice», *The Book and Paper Group Annual*, 5 (1986), pp. 108-119.

JAMES, C., CORRIGAN, C., ENSHAIAN, M. C., y GRECA, M. R., *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni antichi*, Leo S. Olschki, Florencia, 1991.

MCAUSLAND, J., y STEVENS, P., «Techniques of lining for the support of fragile works of art on paper», *The Paper Conservator*, 4 (1979), pp. 33-43.

VIÑAS, V., y VIÑAS, R., *Estudio del RAMP sobre las técnicas tradicionales de restauración*, UNESCO, París, 1990.

WEIDNER, M. K., y ZACHARY, S., «The System: Moisture Chamber / Suction Table / Ultrasonic Humidifier / Air Filter», en AA.VV., *Conservation of Historic and Artistic Works* (Symposium 88, Proceedings, Ottawa 1988), Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1994, pp. 109-115.

Capítulo 14. Blanqueo

CARTER, H. A., «The Chemistry of Paper Preservation. Part 2. The Yellowing of Paper and Conservation Bleaching», *Journal of Chemical Education*, 73 (1996), pp. 1068-1073.

CRESPO, C., y VIÑAS, V., *La preservación y restauración de documentos y libros en papel*, UNESCO, París. 1984.

DUROVIC, M., y ZELINGER, J., «Chemical Processes in the Bleaching of Paper Library and Archival Collections», *Restaurator*, 14 (1993), pp. 78-101.

HEY, M., «Paper bleaching: its simple chemistry and working procedures», *The Paper Conservator*, 2 (1977), pp. 10-23.

JAMES, C., CORRIGAN, C., ENSHAIAN, M. C., y GRECA, M. R., *Manuale per la conservazione e il restauro di disegni antichi*, Leo S. Olschki, Florencia, 1991.

LIENARDY, A., y VAN DAMME, Philippe, «Resultats su recherches experimentales sur le blanchiment du papier», *Studies in Conservation*, 34 (1989), pp. 123-136.

SCHAEFFER, T. T., BLYTH-HILL, V., y DRUZIK, J. R., «Aqueous light bleaching of paper: comparison of calcium hydroxide and magnesium bicarbonate bathing solutions», *Journal of the American Institute for Conservation*, 35 (1996), pp. 219-238.

VAN DER REYDEN, D., MECKLENBURG, M., BAKER, M., y HAMILL, M., «Update of current research into aqueous light bleaching at the Conservation Analytical Laboratory», *The 1998 Book and Paper Book Annual*, Washington, BGP of the AIC, 1988, pp. 73-106.

VIÑAS, V., y VIÑAS, R., *Estudio del RAMP sobre las técnicas tradicionales de restauración*, UNESCO, París,1990.

Capítulo 15. La conservación preventiva

AA.VV., *Preserving the illustrated text: report of the Joint task force on text and image*, Washington, Commission on Preservation and Access, 1992.

BAKER, J. P., y SOROKA, M. C., *Library conservation. Preservation in perspective*, Stroudsburg, Dowden, Hutchinson & Ross, 1978.

COPEDÉ, M., *Il restauro delle opere cartacee: un approccio alle diverse tipologie di oggetti*, Istituto per l'Arte e il Restauro Firenze, Florencia, 1993.

DEPEW, J. N., *A library, media, and archival preservation handbook*, ABC-CLIO, Denver-Oxford, 1991.

DOLLOFF, F. W., y PERKINSON, R. L., *How to Care for Works of Art on Paper*, Boston, Boston Museum of Fine Arts, 1985.

MURRAY, T., «How to write an disaster plan», en AA.VV., *New Directions in Paper Conservation* (The Institute of Paper Conservation. 10th Anniversay Conference, 1986. Conference Notes), The Institute of Paper Conservation, Oxford, 1986, pp. D93-D102.

OAKLEY, R., *Copyright and preservation: a serious problem in need of a thoughtful solution*, Commission on Preservation and Access, Washington, 1990.

OGDEN, S. (ed.), *Preservation of library and archival materials: a manual*, Northeast Document Conservation Center, Washington,1994.

SMITH, M. A., *Matting and Hinging of Works of Art on Paper*, Library of Congress, Washington DC, 1981.

SWATZBURG, S. G., *Preserving library materials: a manual*, 2nd ed., Scarecrow Press, Londres,1995.

TRINKAUS-RANDALL, G., *Protecting your collections. A manual of archival security*, The Society of American Archivist, Illinois, 1995.

VAN NEYGEN, V. M., BARDÓN FERNÁNDEZ, F., ROZAS VIÑIES, M., *La conservación de documentos*, Instituto Oficial de Radio y Televisión RTVE, Madrid, 1988.

Los contenidos de este libro pueden ser reproducidos en todo o en parte, siempre y cuando se cite la fuente y se haga con fines académicos y no comerciales

Como todas las disciplinas que componen la conservación y restauración de bienes culturales, una buena restauración de un papel (de un dibujo, de un grabado, de un mapa, de un documento) requiere no sólo una amplia experiencia, sino también una serie de conocimientos de otro tipo: los que se pueden transmitir mediante palabras, conocimientos como los que se pueden escribir en una pizarra, o en un libro. *La restauración del papel* reúne buena parte de este tipo de saberes: los necesarios para permitir a la persona interesada conocer la naturaleza de esta actividad, para guiar al estudiante que comienza o acaba, y también, en muchos casos, para interesar al profesional. Así, en este libro se describen de manera clara y precisa la mayoría de los tratamientos de restauración más habituales (y otros que no lo son tanto), pero también una serie de conocimientos auxiliares –de historia, de física, de química– que permiten entenderlos. Quien desee introducirse en esta disciplina apasionante encontrará en esta obra el mejor punto de partida

open access

ISBN 978-84-309-5112-3

9 788430 951123

tecnos

www.tecnos.es

1212213